DISCURSO INAUGURAL

LEÍDO EN LA

SOLEMNE APERTURA DEL CURSO ACADÉMICO

DE 1905 Á 1906

ANTE EL CLÁUSTRO

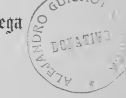
DE LA

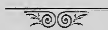
UNIVERSIDAD DE SEVILLA

POR EL DOCTOR

D. Federico Relimpio y Ortega

CATEDRÁTICO DE LA FACULTAD DE CIENCIAS





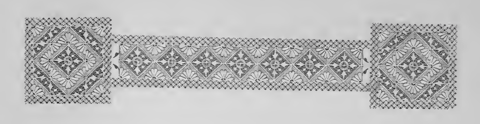


SEVILLA

PAPELERÍA SEVILLANA, Sierpes, 51

1905

Al Sr. D. Alejandro Guichot,
en testimonio de afectuoso recuerdo,
su amigo y correligionario
El autor





Ilmo. Sr.:

Siempre he temido que llegara el día en que hubiera de ser yo el encargado de llevar la voz de este ilustre claustro universitario en el acto solemne con que celebramos la inauguración de los estudios oficiales. Acobárdame la idea de mostrar mi poquedad en esta cátedra que han ocupado tantos sabios, ante un concurso tan lucido y docto y en ocasión de tanto empeño. Y al manifestaros este temor, no lo hago por un alarde pueril de mal disimulada modestia, sino por mi firme convicción de la debilidad de mis facultades para corresponder, cual yo quisiera, á vuestra confianza y á la solemnidad que hoy nos congrega; acto el más importante de nuestra vida académica, porque enlaza la tradición de las glorias de nuestros grandes institutos de enseñanza con la actividad intelectual de nuestra patria en el vertiginoso movimiento de las agitadas corrientes de la cultura y de la civilización, abriendo con la inspirada palabra

de sabios maestros, nuevos y dilatados horizontes á las legítimas aspiraciones de nuestra estudiosa juventud.

Colocado hoy en condiciones excepcionales, bien distintas á las ordinarias de mi vida, consagrada únicamente desde hace largos años al trabajo experimental, cuyos resultados se sintetizan de ordinario en breves y lacónicas notas despojadas de toda gala literaria, comprenderéis lo difícil de mi empresa al ocupar hoy esta cátedra, que con tanta erudición y elocuencia enaltecieron mis antecesores; no quedándome por tanto otro recurso, si he de cumplir con el precepto reglamentario que en tan duro trance me ha colocado, que el esperarlo todo del afecto que me profesáis y de vuestra excesiva benevolencia.

En 1896 hubo de realizarse en el campo de las ciencias físicas, uno de esos hechos que por su capital interés y extraordinaria trascendencia constituye el punto de partida de una nueva era en los vastos dominios de las ciencias experimentales Este hecho capital, ha sido el descubrimiento de una nueva propiedad de la materia, *la radioactividad*, felizmente realizado por el ilustre físico francés Enrique Becquerel, miembro del Instituto de Francia y profesor de la Escuela Politécnica de París.

Es tal la importancia de este descubrimiento en el terreno científico que Alfonso Berget (1) con gran criterio lógico lo compara con el descubrimiento de Colón en el terreno geográfico. Así, como el descubrimiento de América ofreció á los pueblos

(1) A. Berget. *El Radio y las nuevas radiaciones;* t. por E. Navarro Beltrán del Río, p. 10.

europeos un nuevo mundo que explorar y vino á ser uno de los factores más poderosos en la evolución de la humanidad bajo múltiples aspectos, originando nuevas civilizaciones cuyas ideas conquistan hoy al viejo mundo, así, el descubrimiento de Becquerel abre á las investigaciones de los físicos, químicos, filósofos, fisiólogos y médicos, novísimos y amplios horizontes, poniendo de relieve la existencia de radiaciones hasta aquí ignoradas, transformaciones de la energía aun desconocidas, y estados materiales aun no definidos; en suma, un mundo nuevo que explorar científicamente.

Y para completar el paralelismo entre estos dos acontecimientos memorables: así como á continuación del ilustre genovés se lanzaron intrépidos conquistadores, los Pizarro, los Cortés, los Vespucio, que exploraron el nuevo Continente y descubrieron sus riquísimas comarcas; sabios y geniales investigadores los Sres. Curie, Debierne, Laborde, Sagnac, Villard, Bloch, Elster, Geitel, Giessel, Rutherford, Sody, J. J. Thomson... etc., siguiendo el camino emprendido por Becquerel, han realizado conquistas científicas de colosal importancia, como el descubrimiento de un nuevo cuerpo simple, que por resumir en el más alto grado la radioactividad de la materia, sus descubridores los sabios físicos franceses Sres. Curie, le han dado el nombre de *radio*.

¿En qué consiste la radioactividad? Consiste esencialmente en que ciertos cuerpos emiten constantemente calor, luz, electricidad, sin recibirlo aparentemente del medio externo, sin variar de estado, sin disminuir su peso y sin que su poder radiante se

debilite. Son manantiales perennes y espontáneos de energía que cual nuevos soles difunden á su alrededor fuerza y vida, sin que se aperciba ese acopio de actividad que brota á raudales de sus misteriosos senos. Es lo inverso del tonel de las Danaides, algo tan extraordinario como un depósito de agua que permaneciese constantemente lleno, aunque se consuma sin cesar el líquido que contiene.

El estudio expositivo de tan singulares fenómenos, y de sus hipótesis explicativas tomando como tipo las propiedades del radio, ha de ser el objeto de este modestísimo trabajo, pero antes de entrar de lleno en tan importante asunto, precisa como preliminar indispensable para su cabal conocimiento, dar una ligera idea de las radiaciones producidas por la descarga eléctrica en los gases enrarecidos, estudio que como á continuación veremos ha sido el precursor del gran descubrimiento de Becquerel.

Imaginemos un tubo ó ampolla de vidrio llena de un gas enrarecido, y atravesadas sus paredes por dos conductores metálicos, en comunicación con los dos polos de una bobina de Ruhnkorff. Tan pronto se cierra el circuito, obsérvanse curiosos fenómenos, variables con la composición química del gas, su presión, y frecuencia de las descargas eléctricas.

Si la presión del gas es de tres á cuatro milímetros de mercurio, ilumínase la región del tubo comprendida entre los

dos electrodos, dependiendo el color y brillo de esta luminosidad, de la naturaleza química del gas, de su grado de enrarecimiento y de la forma del tubo ó ampolla. Ofrece este fenómeno la particularidad de que la luz en vez de ser continua, aparece estratificada, esto es, compuesta de bandas alternadas, brillantes y obscuras, quedando rodeado el electrodo negativo ó catodo de un pequeño espacio obscuro. Á los tubos que presentan estos fenómenos se les llama tubos de Geissler, por ser este físico su inventor.

Á medida que se eleva la rarefacción del gas, se amplifica la zona obscura que rodea al catodo, se acorta la citada faja luminosa, y llega á desaparecer cuando la presión desciende á tres centésimas de milímetro de mercurio, apareciendo en cambio iluminada con resplandores verdosos ó violados, la pared del tubo opuesta al catodo. Á los tubos que presentan este aspecto denomínaseles tubos de Crookes ó de Hittorf.

Todo objeto introducido en estos tubos, una cruz de aluminio, por ejemplo, proyectan una sombra sobre la pared iluminada, enteramente análoga á la que se produciría colocando un foco luminoso en sustitución del catodo, de cuyo resultado se deduce: primero, que el agente productor de la luminosidad emana del catodo, y segundo, que su propagación, del mismo modo que el calor y la luz, se efectúa en línea recta, carácter que ha servido para darle el nombre de rayos catódicos. Hé aquí, sus principales propiedades: se propagan en línea recta, con velocidades que varían (según el potencial de descarga) entre 22.000 y 50 000

kilómetros por segundo; producen acciones mecánicas y efectos notables de fosforescencia y fluorescencia; el diamante al ser herido por los rayos catódicos se ilumina vivamente con luz amarillo-verdosa, el rubí despide resplandores rojizos, la creta anaranjados, el cristal verdosos y hasta el aire al ser atravesado por un haz catódico brilla con luz azulada. Al incidir sobre los cuerpos elevan su temperatura hasta el punto de fundir al platino. Transportan cargas de electricidad negativa; son desviables por los campos magnético y eléctrico; descargan los cuerpos electrizados; producen fenómenos químicos de reducción y ozonizan el aire.

Para los físicos alemanes Goldstein, Wiedman y Ebert, Hertz y Lenard, los rayos catódicos son el resultado de vibraciones longitudinales del éter, fundando su aserto en que los citados rayos no son siempre normales á la superficie del catodo; en el hecho de producir las mismas reacciones químicas que la luz (reducción de las sales haloideas de plata, bicromatos alcalinos, descomposición del oxalato férrico... etc.); en que al incidir sobre una superficie cualquiera actúan también sobre los cuerpos á ella próximos, como si los rayos catódicos lo mismo que los luminosos sufriesen la reflexión difusa, y por último en los notables experimentos de Lenard, comprobativos unos de la propagación de los rayos catódicos en el vacío absoluto, en la atmósfera y á través de los diversos gases, y comprobativos otros de la transparencia para estos rayos, de ciertos metales, bajo muy débil espesor, hecho que no podía concebirse por el paso de moléculas electrizadas á través de esas masas metálicas.

Esta hipótesis de las ondulaciones aceptada casi unánimemente gracias á los trabajos de Lenard, va dejando su puesto á la teoría balística, ante los resultados experimentales obtenidos por Perrin y J. J. Thomson (1) los cuales han demostrado que los rayos catódicos transportan cargas eléctricas negativas, transporte eléctrico en absoluto inexplicable por la teoría ondulatoria.

La hipótesis balística formulada por Crookes 25 años há, y tan rudamente combatida en los primeros tiempos de su aparición, vuelve hoy á entronizarse pujante y victoriosa en el campo de la Electrología, contando entre sus sostenedores físicos de la talla de Lor-Kelvin, Fitz-Gerard, Perrin y J. J. Thomson.

Según esta hipótesis llamada también de la emisión, las moléculas del gas próximas al catodo son descompuestas por la corriente eléctrica en partículas más pequeñas y electrizadas. Unas, se electrizan positivamente (iones positivos) y son absorbidas por el catodo y otras, se cargan de electricidad negativa (iones negativos) que son repelidas violentamente por el catodo en dirección normal á su superficie. Los rayos catódicos, según este supuesto, no son otra cosa que chorros ó surtidores de iones negativos lanzados por el catodo, lo cual explica su desviación por los campos magnético y electrostático. En cuanto á la mancha fluorescente observada en el tubo de Crookes, débese al choque de estas partículas materiales, verdaderos proyectiles, contra la pared del tubo.

---

(1) *Comptes rendus* t. CXXI p. 1130., *Annales de Chimie et Phisique* t. II.—1897.

Thomson, afirma con pruebas experimentales, que las partículas constituyentes de los rayos catódicos poseen siempre la misma masa, sea cualquiera el gas contenido en la ampolla, y su magnitud es mil veces menor que el átomo de hidrógeno, átomo el más pequeño de los cuerpos simples conocidos, razón por la que, considera á las indicadas partículas ó iones negativos como productos de la destrucción del átomo, y propone se las llame corpúsculos.

¡Qué postulado este tan sorprendente y extraño! El átomo material considerado por todos como masa insecable é indivisible por las acciones químicas, el límite extremo de la divisibilidad real de la materia y en cuya indestructibilidad y permanencia se funda toda la Química moderna, hoy ante la perspectiva de los hechos descubiertos por Thomson y ante otros más importantes referentes á la radioactividad de la materia, obligan á rectificar nuestras ideas sobre un punto tan esencial, conduciéndonos á la conclusión de que el átomo á semejanza de la molécula, puede dividirse bajo ciertas influencias, en partículas aun más pequeñas. El límite, pues, de la divisibilidad de la materia, no es ya el átomo de los químicos, sino el corpúsculo de Thomson.

Este estado de división extrema es común á todos los cuerpos, y se define por la ausencia completa de todas las propiedades que caracterizan y distinguen unos de otros, los diversos elementos químicos de la materia molecular.

La teoría corpuscular de la materia ha empezado ya á tomar carta de naturaleza al lado de la teoría clásica de la cons-

titución atómica del mundo material. Y hasta qué punto la nueva concepción teórica posee títulos de legitimidad para introducirse en el campo de la ciencia, ya tendremos ocasión de verlo, una vez conocidas las extraordinarias propiedades de los cuerpos radioactivos.

Por la misma época, é independientemente de las investigaciones de J. J. Thomson, M. Lorentz desarrolla una teoría de la electricidad ingeniosa en extremo. Para este físico, todo fenómeno eléctrico ó luminoso es debido á movimientos de los electrons que son unidades indestructibles de flúido eléctrico. Cada átomo material posee uno ó varios electrons que ejecutan movimientos orbitarios alrededor de núcleos materiales. Una variación en la velocidad de los electrons ó una deformación de sus órbitas se manifiesta al exterior por un fenómeno eléctrico ó luminoso. Si bajo la influencia de fuerzas externas, los movimientos de los electrons se orientan en una misma dirección, en el seno de un cuerpo conductor, desplazàndose de un átomo al contiguo, un transporte de electricidad se efectúa en la dirección de estas fuerzas, originándose una corriente eléctrica. Tales son á grandes rasgos las conclusiones de la teoría de Lorentz (1).

Los experimentos de Zeeman han conducido á dar realidad objetiva á los electrons, es decir, á materializarlos. Zeeman ha calculado la relación entre la carga eléctrica de un electron y su masa, y ha encontrado que esta relación $\frac{e}{m}$ es del mismo orden

---

(1) *Rapoit du Congrès internationel de Phisique.*—(París, 1900.)

de magnitud para el electron de Lorentz y el corpúsculo de Thomson, de donde se deduce que el corpúsculo es un electron y los rayos catódicos son surtidores de estas pequeñas partículas indestructibles de flúido eléctrico. M. Larmor y M. Lodge van más allá en sus deducciones. Según estos físicos puede prescindirse del núcleo material, del átomo, no siendo el átomo sino un conjunto de electrons.

La materia según esta teoría no es otra cosa que electricidad condensada.

No es la radiación catódica la única producida cuando se hace funcionar un tubo de Crookes; á la par que del catodo, fluye el haz de rayos de que hemos hecho mérito, otros rayos nacen en la región del anodo descubiertos por Goldstein, á los que se ha dado el nombre de rayos canales, por la forma en que emergen y dispositivo necesario para su observación. Consiste éste, en un tubo de Crookes dividido por el catodo en dos compartimientos, uno de los cuales contiene el anodo, comunicando entre sí por pequeños orificios practicados en el catodo. Obsérvase al poner en acción el aparato, que al tiempo de producirse el haz catódico, aparece en la región posterior al catodo, una luminosidad amarilla bastante viva, que en forma de estrechos haces brota de los orificios ó canales abiertos en el catodo y se propagan en dirección opuesta á los rayos catódicos.

Estos rayos poco estudiados aún, y que, por su relación y semejanza con los catódicos, se los considera formados por corrientes de partículas materiales electrizadas positivamente,

parecen poseer las siguientes propiedades: marchan con una velocidad mil veces menor que los rayos catódicos; transportan cargas eléctricas positivas, por lo que, un campo magnético ó eléctrico los desvía en sentido inverso que á los catódicos; descargan los cuerpos electrizados y cuando atraviesan un gas lo vuelven opaco para las oscilaciones eléctricas; producen calor cuando encuentran un obstáculo; excitan la luminiscencia de varias substancias y no impresionan las placas fotográficas.

Tales son las radiaciones originadas por la descarga eléctrica, en los gases enrarecidos, pero la radiación catódica al chocar contra un cuerpo, determina en éste la emisión de otros rayos, descubiertos por Röntgen en Diciembre de 1895, y que por su excepcional interésy numerosasaplicaciones que han recibido sobre todo en Medicina, merecen que les consignemos algunas líneas.

Enciérrese una ampolla de Crookes en una caja de cartón recubierta de papel de estaño ó de hojas delgadas de aluminio. Si una vez activado el aparato se le aproxima una pantalla esmaltada con platino-cianuro de bario ésta se vuelve luminosa ¿Cuál es la causa de esta luminiscencia? Fácilmente se comprende que la causa productora de tan singular fenómeno, no depende en modo alguno de la luz verde emitida por el vidrio de la ampolla, ni de las acciones eléctricas desarrolladas en su interior, dada la impenetrabilidad de las paredes de la caja, á toda radiación luminosa conocida y á toda influencia electrostática.

Röntgen á quien se debe este experimento, con esa gran intuición que caracteriza al genio, indujo que la causa del fenó-

meno, era debida á un nuevo agente capaz de atravesar el cartón de la citada caja y su envolvente metálica.

Á continuación observa, que la pantalla se ilumina de igual modo interponiendo entre ella y la caja que encerraba á la ampolla generatriz, un libro de mil páginas, ó una tabla de abeto, ó una placa de aluminio de 15 milímetros de espesor. Coloca una placa fotográfica en lugar de la pantalla fluorescente, y observa que la placa era siempre impresionada, aun cuando se la protegiera envolviéndola en hojas de papel negro. Interpone su mano entre la ampolla y la pantalla luminosa y ve con asombro proyectarse con tintas negras, sobre el fondo brillante del campo, la sombra de los huesos de su mano, mientras que el contorno de los tejidos blandos vagamente se acusaba por una ligera penumbra. Sustituye, en fin, la pantalla, por una placa fotográfica y la imagen anterior era fielmente dibujada, después del revelado.

Como en estos experimentos, la ampolla, la mano y su sombra siempre se situaban en línea recta, dedujo el sabio físico citado, que el nuevo agente productor de tanta maravilla, se propaga en la misma dirección que el calor y la luz. Por esto le dió el nombre de rayos, y les llamó rayos X para indicar que su naturaleza era desconocida.

Tal ha sido la génesis del notable descubrimiento realizado por el ilustre catedrático de la Universidad de Wurtzbourg (1).

---

(1) Röntgen nació en Prusia el año 1844; recibió el grado de Doctor en Ciencias en 1869 en la Universidad de Zurich y actualmente explica las asignaturas de Mecánica, Acústica y Óptica en la Universidad de Wurtzbourg (Baviera).

Aun cuando los rayos X difieren notablemente de los catódicos, existe, no obstante, entre ellos una relación muy íntima. Ya Röntgen en la primera Memoria que publicó notificando el resultado de numerosos experimentos, expuso la conclusión siguiente: «los puntos del tubo donde aparece la fosforescencia con más brillo es donde principalmente se originan los rayos X, luego estos rayos parten de la región del tubo donde los rayos catódicos chocan contra el vidrio.»

Observaciones posteriores han comprobado, que no sólo el vidrio, sino cualquier otro obstáculo capaz de detener los rayos catódicos, se convierte en foco emisivo de rayos X. Y si este obstáculo fuese un cuerpo simple, la magnitud de su peso atómico ejerce—según Roiti—especial influencia en la intensidad de los rayos X originados.

Sus propiedades son éstas: se propagan en línea recta sin reflejarse, refractarse ni polarizarse; atraviesan con más ó menos facilidad á casi todas las substancias, según su naturaleza, espesor y diferencia de potencial productora de los rayos catódicos; el papel, el cartón, la madera, cera, parafina, ebonita y carbón, son muy transparentes para los indicados rayos, continuando por orden de opacidad creciente, el agua, los huesos, el marfil, vidrio, cuarzo, sal gema, azufre, hierro, acero, cobre, latón, mercurio y plomo. Atraviesan facilmente los tejidos blandos de los organismos, no así el tejido óseo, en cuyo hecho se funda el examen radioscópico del cuerpo humano, excelente medio exploratorio tan empleado en Medicina y Cirugía. Impresionan las

placas fotográficas y excitan la fosforescencia y fluorescencia de los cuerpos fotoluminiscentes, en especialidad la del platinocianuro de bario y tungstato cálcico. Descargan los cuerpos electrizados, hacen conductor de la electricidad al aire y á los gases que atraviesan y no son desviados en su marcha por los campos magnético ni eléctricos.

De la naturaleza de estos rayos, nada se sabe aún. Varias hipótesis se han propuesto, y entre ellas la más probable es la que les asigna un origen vibratorio; en este supuesto, las vibraciones etéreas originarias de los rayos X han de ser rapidísimas 30.000.000.000.000.000.000 por segundo, con una longitud de onda inferior á 0,0001 de micron.

Así como los rayos catódicos al chocar contra un obstáculo se transforman en rayos X, éstos á su vez originan otras radiaciones cuando actúan sobre los metales y aun sobre el aire mismo. Esta radiación secundaria llamada rayos S por su descubridor Sagnac, está constituída en cada caso, por una mezcla de diversos rayos, los cuales en conjunto poseen las propiedades de los rayos X, aun cuando de menor poder penetrante y cuya complejidad en su constitución es tanto mayor, cuanto más elevada es la densidad y el peso atómico del metal sometido á la radiación de Röntgen (1).

Sagnac y Curie, han comprobado que los rayos S, están constituidos, por una mezcla de rayos unos desviables y otros

1 Sagnac, *Comptes rendus 1897. 1898, 1899* (varias notas).
Muñoz del Castillo, *Anales de la Sociedad Española de Fisica y Química*, t. I p. 254.

no, por los campos magnético y eléctrico, y en cuanto á su naturaleza, los cree Sagnac originados por vibraciones etéreas, comprendidas en la escala de los movimientos vibratorios, entre la región ultraviolada y la de Röntgen.

Hemos visto que la energía eléctrica gastada en hacer funcionar un tubo de Crookes, se transforma por intermedio de los rayos catódicos, rayos X, y de las substancias fotoluminiscentes en energía luminosa. Y en vista de este resultado, ¿no cabe preguntar, si los cuerpos luminiscentes, aparte de los rayos luminosos, serían capaces de emitir rayos análogos á los de Röntgen, fuese cualquiera la causa determinante de la fotoluminiscencia?

El deseo de contestar á tan lógico razonamiento, promovió gran número de experimentos, distinguiéndose entre los físicos dedicados á esta labor el ilustre sabio Enrique Becquerel, cuyos trabajos coronados por el más feliz éxito, dieron por resultado el descubrimiento de la radioctividad de la materia.

La historia de tan notable acontecimiento, que constituye el mayor timbre de gloria para su autor, agraciado con tal motivo el pasado año por la Academia de Stockolmo, haciéndole partícipe del premio Novel, escrita se halla por el mismo descubridor, en el prefacio de su bello trabajo titulado: «*Investiga-*

ciones sobre una propiedad nueva de la materia; actividad radiante espontánea ó radioactividad de la materia;» trabajo que comprende todo el tomo 46 de las Memorias de la Academia de Ciencias del Instituto de Francia.

En la imposibilidad de reproducir *in extenso* tan excelente documento nos limitaremos á resumir sus pasajes más importantes.

Siendo una de las propiedades de los rayos X impresionar las placas fotográficas, un gran número de investigadores, según antes indicamos, propusiéronse estudiar, si las substancias en alto grado fluorescentes, al igual que la mancha fluorescente del tubo de Crokes, emiten también rayos Röntgen ú otros análogos, capaces como ellos de impresionar las placas fotográficas á través de pantallas opacas.

Siguiendo el orden de los trabajos publicados con este motivo, mencionaremos en primer término una nota de M. Ch. Henry (1) en la que anuncia haber obtenido impresiones fotográficas á través de papel negro por medio del sulfuro de zinc fosforescente. Niewenglowski obtiene el mismo resultado con un sulfuro de calcio fosforescente, y Troost consigue fuertes impresiones fotográficas á través de papel negro y de un grueso cartón, operando con la blenda exagonal fosforescente, artificialmente preparada.

Tales han sido los trabajos que han precedido á la primera

---

(1) *Comptes rendus de l'Academie des Sciencies*, t. CXXII p. 312.—10 Fevrier 1896.

observación de Becquerel sobre las propiedades radiantes de las sales de uranio.

Este célebre físico toma una placa fotográfica, la envuelve cuidadosamente en dos hojas de papel negro y espeso, deposita sobre ella dos láminas de sulfato doble de uranio y de potasio, interpone entre una de estas láminas y la placa una moneda de plata y así dispuesto el experimento, lo somete todo á la luz del sol. Transcurridas unas horas, el revelado de la placa acusa una ligera impresión, apareciendo las siluetas de las láminas y la sombra de la moneda.

Repetido el experimento interponiendo entre la placa envuelta y las láminas de sal de uranio, una lámina de vidrio muy delgada ($0,^{mm}1$ de espesor) ó una lámina de mica, para impedir que sobre la placa actuase cualquier vapor emitido por la sal uránica, el resultado obtenido fué el mismo que anteriormente, aun cuando más débiles las impresiones fotográficas.

Como la persistencia luminosa de las sales de uranio, después de la insolación, sólo dura una centésima de segundo, creyó Becquerel indispensable prolongar la exposición al sol todo el tiempo que durase el experimento. Y al efecto dispuso otros nuevos. Encierra una placa Lumiere en un chassis formado por una tupida tela negra y una placa de aluminio de dos milímetros de grueso y somete á éste durante todo un día á la acción directa del sol, no experimentando la placa á pesar de tan prolongada insolación el más ligero velado. Obtenido este dato, coloca sobre la cara de aluminio del chassis una lámina de sal

de uranio y la deja expuesta algunas horas á la luz del sol. Revelada la placa, ésta aparece impresionada enfrente del sitio ocupado por la sal uránica.

Otros varios experimentos análogos practicó Becquerel para investigar el poder penetrante de los nuevos rayos, ¿pero á qué continuar su descripción? Lo dicho basta para comprender la sagacidad del ilustre físico y el acierto de sus previsiones. Éstas fueron plenamente confirmadas. En efecto, las sales uránicas emiten rayos penetrantes análogos á los X.

Pero este resultado no era sino la primera etapa de su marcha hácia el gran descubrimiento. Creía Becquerel que esta radiación tenía su origen en la fluorescencia de la sal uránica producida por la luz solar, por eso fué grande su sorpresa al observar que, las sales uránicas producían las mismas impresiones fotográficas, cuando los experimentos ya indicados se practicaban en la más completa obscuridad.

Una circunstancia casual ha concurrido en este nuevo descubrimiento; el haberse nublado el sol dos de los días destinados á los experimentos, motivó que Becquerel encerrase las placas preparadas al efecto en el cajón de una mesa y *fuera* por tanto de la acción de la luz. Como el sol permaneciese nublado los siguientes días, reveló las citadas placas esperando encontrar imágenes muy débiles; mas no fué así: éstas, por el contrario, aparecieron con gran intensidad. Ante la perspectiva de hecho tan imprevisto, creyó Becquerel que la emisión uránica provocada por la luz debía continuar en la obscuridad y para

comprobarlo practica á renglón seguido nuevos experimentos idénticos á los precedentes, pero al abrigo de toda excitación luminosa, obteniendo los mismos resultados.

La duda no era ya posible, la impresión de la placa fotográfica era por completo independiente de la emisión luminosa producida por la fluorescencia de la sal uránica. Entre ambos fenómenos no existe relación alguna. Nos encontramos por tanto frente á frente con un hecho fundamental completamente nuevo; la emisión de rayos penetrantes sin causa excitadora aparente.

Dentro de las ideas científicas hoy en boga, pudiera explicarse esta radiación por un almacenamiento de energía correlativo á una larga exposición del producto activo á la luz difusa; si así fuera, la emisión uránica debe debilitarse con el tiempo, por el contrario, ella tendrá el sello de la permanencia y de la constancia en la intensidad si no intervienen en su producción causas excitadoras externas.

Para dilucidar punto tan esencial, colocó Becquerel en la obscuridad, sobre una placa fotográfica envuelta en papel negro, diversos compuestos de uranio separados del papel por láminas de vidrio muy delgadas. Revelada la placa al cabo de 48 horas, las impresiones producidas por cada uno de los indicados compuestos eran casi idénticas. Repetido el experimento sin salir de la obscuridad, operando con los mismos compuestos de uranio y en las mismas condiciones, la intensidad de las imágenes reveladas era la misma que en el caso anterior.

Una tercera prueba, y para concluir una larga serie de ellas

practicadas en el transcurso de varias semanas y separadas por intervalos de tiempo cada vez mayores revelaron cualitativamente la *quasi permanencia* del fenómeno. Entre la primera y la última prueba experimental habían transcurrido siete años; no obstante á pesar del largo plazo transcurrido, las impresiones fotográficas tenían la misma intensidad. Idéntico resultado obtuvo operando con un trozo de uranio metálico conservado varios años en la obscuridad, cuya acción sobre la placa fotográfica no decrecía sensiblemente con el tiempo, hecho confirmado después por los eminentes físicos Elster y Geitel (1).

En Marzo de 1896 obtuvo Becquerel la primera radiografía, colocando una medalla de aluminio entre una placa fotográfica envuelta en papel negro y varias láminas de sulfato uránico potásico. Reconoció así mismo que las imágenes obtenidas aumentaban de intensidad, cuando las indicadas láminas se cubrían con un espejo de acero, fenómeno que atribuyó primero á un efecto de reflexión, y más tarde á radiaciones secundarias, y por último ejecuta la interesante observación de que las acciones químicas fotográficas se debilitan con la distancia de la sal uránica á la superficie de la placa sensible, lo cual acusa una absorción y difusión por el aire de las radiaciones uránicas.

Las investigaciones de Becquerel no se concretaban al estudio de las acciones que sobre la placa fotográfica ejercen las nuevas radiaciones: á la par que exploraba este terreno

---

(1) Becquerel, *Comptes rendus*, t. CXXVIII p. 771.

dirigía su actividad por otros derroteros, donde le esperaban nuevos éxitos y á la ciencia nuevas conquistas de resultados aún más positivos que los consignados hasta ahora.

Y en efecto, el 7 de Marzo de 1896 observa dicho físico un fenómeno de extraordinario interés: la descarga de los cuerpos electrizados bajo la acción de los nuevos rayos, valiéndose para ello de un electróscopo de Hurmuzeseu, consistente en una linterna rectangular de hierro provista de vidrios conductores de la electricidad, y cuya varilla está aislada por un tapón de dielectrina (mezcla de azufre y parafina). El aislamiento es así casi perfecto: electrizadas las hojas de oro, divergían unos 20°, aproximándose tan solo unos 2°,5 en el transcurso de 12 horas, pero si en la caja del electróscopo se introduce una lámina de sulfato uránico-potásico, el electróscopo se descarga en hora y media próximamente.

Todas las sales de uranio ya sean fluorescentes como las uránicas, ó que carezcan de esta propiedad como las uranosas, presentan los mismos caracteres; impresionan las placas fotográficas y descargan los cuerpos electrizados. De todas las substancias estudiadas por Becquerel sólo los compuestos de uranio presentan estos caracteres, resultado que le sugirió la idea de que la actividad radiante no es como la fosforescencia una propiedad dependiente de un estado particular físico ó químico de las substancias, sino que era debida al elemento uranio y que dicha actividad era una propiedad molecular característica del átomo de este elemento. El uranio metálico debería ser entonces más

activo que todos sus compuestos, deducción comprobada por la experiencia.

Becquerel ha resumido toda su magna labor experimental en las conclusiones siguientes:

«El uranio y todos sus compuestos emiten una radiación invisible y penetrante que produce acciones químicas fotográficas y descarga á distancia los cuerpos electrizados.»

«La intensidad de esta radiación parece ser constante é independiente del tiempo y no ser influída por ninguna causa excitadora externa conocida. Parece por lo tanto espontánea.»

«Atraviesa los metales, el papel negro y los cuerpos opacos para la luz »

«La propiedad radiante pertenece al átomo de uranio y es independiente del estado molecular de sus compuestos.»

«Todas las substancias sometidas á la radiación nueva, emiten á su vez una radiación secundaria capaz de impresionar las placas fotográficas »

«La placa fotográfica y el electróscopo constituyen los medios de que dispone el físico para el estudio de la nueva radiación.»

Los notables trabajos de Becquerel tuvieron gran resonancia en el mundo científico. El eminente fisico inglés Lor-Kelvin los repite con éxito completo, y los trabajos de otros ilustres físicos Elster y Geitel, Schmidt, Rutherford, Beattie y Smoluchowski, confirmaron también sus resultados.

Schmidt y la Sra. Curie no sólo repitieron los experimentos

de Becquerel empleando métodos de investigación mucho más precisos, fundados en la conductibilidad eléctrica adquirida por el aire bajo la acción de los rayos uránicos, sino que hicieron extensivas sus investigaciones á otras muchas substancias, llegando á descubrir que los compuestos de torio gozan de las mismas propiedades que los de uranio (1).

La señora Curie da el nombre de rayos Becquerel á los emitidos por el uranio, el torio y sus compuestos y denomina radioactivas á las substancias capaces de emitir una radiación de este género (2).

Después de un estudio completo de la radiación emitida por las sales de uranio y de torio, confirmó la ilustre investigadora citada, la hipótesis de Becquerel; de que la radioactividad de los compuestos uránicos y tóricos se presenta como una propiedad atómica. Los fenómenos observados no dependen por tanto sino del elemento uranio ó del torio contenido en el compuesto, razón por la que el uranio metálico debe ser más activo que sus sales.

En el curso de sus investigaciones observó la Sra. Curie que la pechblenda (óxido uranoso-uránico) se mostraba cuatro veces más activa que el uranio metálico, la chalcolita (fosfato cristalizado de cobre y de uranio) dos veces más activa, y la autonita (fosfato de uranio y de calcio) revelaba una actividad igual á la del uranio. Estos hechos están en completo desacuerdo con las consideraciones precedentes, pues siendo la radioactividad

---

(1) MME. CURIE, *Comptes rendus*, Avril 1898.

(2) P. CURIE y MME. CURIE, *Comptes rendus*. 18 Juillet 1898.

una propiedad atómica, ningún mineral citado debería poseer mayor actividad que el uranio y el torio.

Para aclarar punto tan interesante la Sra. Curie prepara chalcolita pura por el procedimiento de Debray, que consiste en calentar á 50 ó 60° la mezcla de una disolución de nitrato de uránilo con otra de fosfato de cobre en el ácido fosfórico. Los cristales de chalcolita se forman transcurrido algún tiempo (1).

Ahora bien, la chalcolita así obtenida es dos veces y media menos activa que el uranio, luego es lógico suponer que ese exceso de actividad de los minerales citados obedece á la presencia de mínimas cantidades de una materia fuertemente radioactiva diferente del uranio, del torio y de todos los cuerpos simples hasta aquí conocidos.

Suposición tan lógica ha recibido plena confirmación en el terreno analítico. Los Sres. Curie después de un trabajo largo y penoso consiguieron extraer de la pechblenda dos nuevos elementos químicos un millón de veces más activos que el uranio metálico: el radio análogo al bario y el polonio próximo al bismuto; y Debierne señala también en la pechblenda la presencia de otra materia radioactiva; el actinio de la familia del torio (2).

Por último, Giessel por un lado y Hoffman y Straus por otro han anunciado la probable existencia de otro cuerpo radioactivo semejante al plomo por sus propiedades químicas, pero de todas estas substancias radioactivas sólo el radio ha sido

(1) DEBRAY, *Ann de Chimie et de Phisique*, 3.ª serie t. LXI p, 445.

(2) DEBIERNE, *Comptes rendus*, Octobre 1899 et Avril 1900.

obtenido hasta hoy al estado de sal pura y en estos momentos todo el mundo científico estudia las maravillosas propiedades de estas sales, cuyas aplicaciones se suceden sin interrupción, ofreciendo constantemente á la labor científica, nuevo campo de experiencias y de investigaciones.

Expuesto ya, aunque á grandes rasgos, todo el proceso histórico del descubrimiento de la radioactividad de la materia y de los cuerpos radioactivos, nos toca examinar ahora siguiendo el encadenamiento lógico que nos hemos propuesto, los medios hasta hoy conocidos para la investigación de tan notable propiedad.

De las distintas propiedades que presenta la radiación becquereliana sólo se ha utilizado para su investigación las acciones que produce sobre la placa fotográfica, la ionización del aire haciéndole conductor de la electricidad y los efectos de fluorescencia que provoca sobre determinadas substancias. La aplicación de cada una de estas propiedades da orígen á los tres métodos de investigación, llamados radioscópico, eléctrico y fluoroscópico.

El primero y tercero sólo proporcionan indicaciones cualitativas, no así el eléctrico cuyos resultados perfectamente comparables, permite juzgar del poder radioactivo de las substancias ensayadas.

Tiene el método fotográfico la indiscutible ventaja de que la placa sensible acumula lentamente las acciones más débiles, dando siempre imágenes perfectamente detalladas con la sola condición de que la *exposición* se prolongue y el no exigir sino un material sencillo, económico y de fácil adquisición, cual es una placa sensible ordinaria, una caja de cartón ó de madera y el neceser fotográfico indispensable para el revelado y fijación de las imágenes.

De las varias formas con que puede aplicarse este método, la más sencilla, empleada por nosotros, consiste en ensayar los minerales sin someterlos á ninguna operación previa. Para ello se coloca horizontalmente sobre el fondo de una caja negra de cartón, una placa fotográfica con la capa sensible vuelta hacia arriba y envuelta en una hoja de papel negro lo que impide que el mineral actúe químicamente sobre la capa sensible; depositase después el mineral objeto del ensayo y se cierra la caja con su tapadera, procurando que el ajuste sea hermético para impedir filtraciones de luz. Si la substancia ensayada es radioactiva, la radiación atraviesa el papel é impresiona la placa, acusando ésta después del revelado una mancha tanto más negra cuanto más activa sea la substancia y más larga la exposición. Para tener un término de comparación, cosa siempre conveniente, se sitúa al lado del *ensayo* un trozo de uranio ó unos cristales de sal uránica. Respecto á la *exposición* necesaria para impresionar la placa depende naturalmente de la sensibilidad de ésta y de la actividad del mineral. Si operando con una placa de sensibilidad extrema

basta una exposición de cinco á seis horas ó de diez á doce, en placas de sensibilidad corriente para obtener una imagen bastante intensa, puede utilizarse el mineral ensayado para la extracción industrial de las sales de radio (1).

Este procedimiento tan recomendable por su sencillez, presenta en cambio el inconveniente de no proporcionar indicaciones precisas. Ciertas partes del mineral se hallan á veces á gran distancia de la placa y no actúan sobre ella sino muy débilmente. Puede además darse el caso de que las partes activas estén englobadas entre la masa inerte del mineral debilitándose entonces su acción considerablemente. Por estas razones es preferible operar con la substancia reducida á polvo tal como vamos á describir. Se pulveriza finamente el mineral en un mortero de hierro procurando que el polvo obtenido sea lo más homogéneo posible. Si el mineral fuese muy heterogéneo, conviene tomar por separado porciones de sus diversas partes, pulverizarlas y estudiarlas aisladamente. Efectuada esta operación previa, se coloca el polvo resultante sobre la placa fotográfica envuelta en un papel negro y se limita el espacio que aquel ocupa rodeándole con un anillo de plomo, se cierra la caja que contiene la placa y se continúa como anteriormente cuidando de colocar fuera del anillo de plomo un trozo de uranio ó una pequeña porción de sal uránica pulverizada, para que sirvan de testigo.

Con una misma placa fotográfica pueden practicarse varios

---

(1) *Recherche des minerais de radium y des matieres radioactives. Le radium, revue mensuelle illustrée publicé sous la direction de* M. Henri Karjas, n.° 2 Fevrier 1904, p. 5.

ensayos á la vez, colocando sobre la hoja de papel negro que la cubre una plancha de plomo de sus mismas dimensiones, de algunos milímetros de espesor y provista de agujeros de uno ó dos centímetros de diámetro, en los cuales se colocan las substancias que se van á ensayar. Mediante esta disposición y operando con placas de 9 × 12 hemos operado en nuestro Laboratorio por tandas de 12 ensayos á la vez.

Una tercer forma operatoria permite distinguir en un mineral las partes activas de las inertes. Si por alguno de los procedimientos anteriores se ha podido apreciar la radioactividad de un mineral, es de gran interés investigar si todo el mineral es radioactivo ó sólo algunas de sus partes, determinando en este caso cuales sean éstas. El procedimiento siguiente imaginado por Sir William Crookes permite efectuar esta operación con toda sencillez. Se desgasta el mineral por una de sus caras hasta conseguir una superficie completamente plana; si el mineral ensayado no es homogéneo, muchas de sus partes activas afluyen á la superficie pulimentada é impresionan la placa sensible fotografiando así su actividad. La radiografía obtenida, permite comparar fácilmente, la distinta actividad de las partes constituyentes del mineral ensayado, y juzgar aproximadamente de su valor industrial (1).

El método fotográfico, como hemos visto, es por demás sencillo y práctico; su manipulación es fácil y el material que

(1) *Le radium; revue mensuelle, Polissage des minerais pour rechercher le radioactivité*, n.° 2 Fevrier 1904, p. 10.

exige está al alcance de todos; pero tiene el grave inconveniente de no dar resultados entre sí comparables, por lo menos entre límites muy extensos. Por el simple examen de una impresión fotográfica no puede afirmarse si una substancia es 10, 100 ó 1.000 veces más activa que otra, y como esta valuación es necesaria en muchos casos, de aquí que los físicos hayan buscado un método de medida capaz de apreciar la actividad de una substancia en función de la actividad de otra (el uranio metálico, por ejemplo) tomada por unidad.

El método seguido con este fin, está fundado en la conductibilidad eléctrica adquirida por el aire bajo la acción de las substancias radioactivas y según el modo de conducirle, da origen á uno de estos dos procedimientos: el electroscópico y el electrométrico (1).

Consiste el método electroscópico en medir la conductibilidad eléctrica que adquiere el aire por la velocidad de descarga

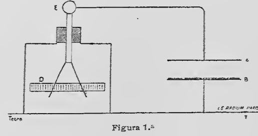


Figura 1.ª

de un electróscopo. La figura 1.ª representa esquemáticamente el dispositivo empleado. Los dos platillos A y B están en comu-

---

(1) *Le radium*, n.º 3, Mars 1904, p. 7.

nicación uno con el suelo y el otro con un electróscopo cargado de electricidad.

En las condiciones normales el aire existente entre los dos platillos es aislador, mas si se coloca sobre el platillo B una materia activa finamente pulverizada, volviéndose dicho aire conductor, la carga eléctrica del electróscopo pasa á la tierra y y esta descarga se efectúa con tanta más velocidad cuanto mayor sea la radioactividad de la substancia. Basta, pues, medir la velocidad de caída de las hojas de oro para tener el valor deseado.

Cualquier dispositivo que realice las condiciones expuestas, puede utilizarse con el fin indicado, pero de todos ellos el que constituye un excelente aparato de medida, es el electróscopo ideado por la Sra. Curie, cuya descripción y manejo omitimos para no excedernos del límite que nos hemos propuesto (1).

Otro aparato sencillo práctico y económico para los reconocimientos electroscópicos de la radioactividad, el *Cronografo* ha sido ideado por el infatigable experimentador Dr. Muñoz del Castillo. cuya descripción y manejo se halla consignado en los Anales de la Sociedad Española de Física y Química, t. III núm. 20, p. 48. Su funcionamiento es tan sencillo, que según su inventor, puede ponerse en manos de un niño de 10 á 12 años, y su precio no excede de 15 á 20 pesetas, circunstancia muy digna de anotarse ante la penuria de nuestros Laboratorios.

---

(1) *Le radium*. n.° 3, Mars 1905, p. 7.

En el mismo principio que el método electroscópico se funda el electrométrico, para medir los poderes radioactivos, esto es, en medir la conductibilidad adquirida por el aire bajo el influjo de las substancias radioactivas El esquema (figura 2) da

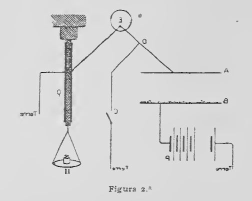


Figura 2.ª

clara idea del aparato empleado con tal objeto por la Sra. Curie. Compónese esencialmente de un condesador AB; la substancia activa finamente pulverizada se extiende sobre el platillo B, y hace conductor al aire interpuesto entre los platillos. Para medir esta conductibilidad se comunica al platillo B un potencial elevado poniéndole en conexión eléctrica con uno de los polos de una batería formada de pequeños acumuladores, estando el otro polo en comunicación con la tierra. Se pone el platillo A en comunicación con el suelo por el hilo CD; su potencial, por tanto, será el de la tierra, mientras no se interrumpa esta comunicación, estableciéndose así una corriente eléctrica entre los dos platillos. Si se corta dicha comunicación, el platillo A se carga de electricidad y la aguja del electrómetro se desvía, pudiendo servir esta desviación para medir la intensidad de la indicada corriente, pero

es preferible hacer esta medición, compensando la carga eléctrica que toma el platillo A con otra igual y de signo contrario, á fin de sostener en el cero la aguja del electrómetro.

Estas débiles cargas pueden compensarse por medio de un cuarzo piezo-eléctrico Q, cuyo ingenioso mecanismo productor de electricidad se presta admirablemente á este objeto. El principio de tan sencillo aparato es el siguiente: cuando una lámina de cuarzo se somete á una tracción ésta se electriza; de una de sus caras se desprende electricidad positiva, y negativa de la otra, en cantidades iguales. Si la tracción decrece, el desprendimiento eléctrico continúa aún, pero invirtiéndose los signos de las electricidades producidas en cada superficie; cuando la tracción cesa por completo, toda manifestación eléctrica desaparece.

Para utilizar este desprendimiento de electricidad, se platean las superficies de las láminas de cuarzo ó se las recubre de papel de estaño; dos resortes metálicos en contacto con las capas metálicas permiten recoger las cargas eléctricas producidas. Se suspende la lámina de cuarzo por un extremo y del otro se cuelga un platillo destinado á recibir los pesos determinantes de la tracción (1).

Tal es en síntesis el aparato ideado por los Sres. Curie;

---

(1) Todo lo concerniente á la sensibilidad, montaje y determinación de los constantes del aparato. puede verse en las obras siguientes: *Journal de Phisique*, 1882; *Note de MM. J. et P. Curie; Annales de Phisique et de Chimie*, 1889; *et Lumiere electrique. Note de M. Curie; Traite de Cristallographie de Mallard et de Soret; Comptes rendus de l' Academie*, 1886; *Note de M. J. Curie; Journal le lumiere electrique*, 1888, y *Comptes rendus de l' Academie*, 1892. *Note de M. P. Curie.*

veamos ahora cómo se le utiliza en el caso especial que nos ocupa. Se pone una de las armaduras del aparato en comunicación con el platillo A y la otra con el suelo. Bajo la influencia de la carga eléctrica del platillo, la aguja del electrómetro tiende á desplazarse; mas si sobre el platillo H se colocan pesos conocidos, de modo que la lámina de cuarzo desprenda en cada instante una cantidad de electricidad igual y de signo contrario á la del platillo A, la aguja del electrómetro permanecerá inmóvil. Basta anotar el tiempo transcurrido entre el instante en que se colocaron las pesas y el momento en que el condensador es completamente descargado, para conocer la cantidad de electricidad que ha comunicado el cuarzo al electrómetro en un tiempo dado, cálculo fácil de realizar, una vez conocida la cantidad de electricidad producida por la tracción de un gramo.

El número así obtenido mide en valor absoluto la cantidad de electricidad que atraviesa el condensador AB en un tiempo dado; es decir, la intensidad de la corriente, cuya medida es independiente de la sensibilidad del electrómetro.

La relación que existe entre la cantidad de electricidad producida, la fuerza de tracción, la longitud de las capas metálicas y el espesor de la lámina de cuarzo, está dada por la fórmula

$$q = 0{,}063 \frac{L}{e} F$$

Siendo L la longitud de las capas metálicas, e el espesor de la lámina de cuarzo, F la tracción expresada en kilogramos y q la cantidad de electricidad expresada en unidades C. G. S. electrostáticas.

La intensidad de la corriente aumenta con la superficie de los platillos del condensador. Para un mismo condensador y una una misma substancia dicha intensidad aumenta con la diferencia de potencial de los platillos, con la distancia entre estos y con la presión del gas. Para las grandes diferencias de potencial, la corriente tiende hacia un valor límite constante y cuando ha llegado á este límite se la llama corriente de saturación ó corriente límite, que es la tomada por la Sra. Curie en sus investigaciones como medida de la radioactividad.

El método fluoroscópico, no tiene la importancia de los anteriores, pues aparte de ser puramente cualitativo, es tan poco sensible el principio en que se funda, que sólo es aplicable á las substancias fuertemente radioactivas, como los compuestos de radio, polonio y actinio.

Conocidos los métodos para la investigación y medición de la radioactividad, procede exponer ahora lo concerniente á la extracción de las nuevas substancias radioactivas y como para estas obtenciones no tenemos más guía que la radioactividad, por ser ésta la única propiedad conocida de las citadas substancias, veamos ante todo, como puede utilizársela para las separaciones analíticas de este género. Mídese en primer término la radioactividad de la substancia objeto del análisis, se la somete luego

á un tratamiento químico y se mide después la radioactividad de los productos obtenidos, para saber si la substancia radioactiva ha quedado íntegramente unida á uno de éstos, ó repartida entre ambos, y en este caso, en qué proporción se ha efectuado el reparto. Repetidas estas mediciones al final de cada separación analítica, se tiene un indicador seguro que marca el rumbo de las operaciones sucesivas hasta llegar al término del análisis. Juega aquí, pues, el electrómetro el mismo papel que el espectroscopio en la separación del rubidio cesio y potasio.

Para que los resultados obtenidos sean comparables, precisa medir la actividad de las substancias en el estado sólido y perfectamente desecadas

Tal es el fundamento de los métodos analíticos para la extracción de las substancias radioactivas; en cuanto á la parte práctica de las manipulaciones, nos ceñiremos, para no dilatar demasiado este asunto, á la obtención del radio, que es el cuerpo radioactivo de mayor interés, no sólo por considerarle como un nuevo elemento químico, sino por sus numerosas é importantísimas aplicaciones.

Encuéntrase el radio en los minerales uraníferos y de estos la pechblenda de Joachimsthal (óxido de uranio) la carnotita (vanadato de uranio) y la autonita (fosfato de uranio y de calcio) han sido los únicos que, hasta el año pasado se han utilizado para la extracción del radio.

Es la pechblenda ó pechurana el mineral más importante de uranio; por su composición química, es un óxido uranoso-uránico,

pero siempre va acompañado de otras muchas substancias aun cuando en proporciones pequeñas; la pechblenda de Joachimsthal contiene molibdeno, tungsteno, vanadio, plata, azufre, arsénico, sílice, óxidos de manganeso, hierro, aluminio, níquel, cobalto, cobre, plomo y bismuto. Su composición como se ve es en extremo compleja.

Es un mineral opaco, de brillo graso débilmente metálico, y se presenta de ordinario en masas compactas de estructura laminosa y más raramente en cristales pertenecientes al sistema regular. Su fractura es concoidea muy duro: raya al vidrio, el color es verdoso algo agrisado, su densidad oscila entre 9 y 10, es infusible al soplete y fácilmente atacado por el ácido nítrico.

Sé le encuentra en los granitos y suele acompañar á los filones de estaño, siendo las localidades donde más abunda Joachimsthal y Przbraum, (Bohemia), Rezbanga, (Hungría), Schunberg, (Sajonia), Andrinópolis, (Turquía asiática), Suecia, Canadá y en el Colorado, (América del Norte.)

No es precisamente la pechblenda de donde directamente se extrae el radio, sino de los residuos procedente de la extracción industrial del uranio. Se tritura y tuesta el mineral con carbonato sódico y el producto resultante se lixivia primero con agua caliente y después con ácido sulfúrico diluído. Se obtiene así una solución que contiene el uranio y un residuo insoluble que encierra substancias radioactivas y cuya actividad es cuatro veces y media al del uranio metálico.

De este residuo se extrae el radio mediante dos series de

operaciones; la primera constituye *el grueso tratamiento* y la segunda los fraccionamientos.

Para el grueso tratamiento de una tonelada de residuos, se necesitan 5 toneladas de productos químicos y 50 de agua para los lavados. Exige además este tratamiento una serie de manipulaciones muy delicadas y una atención y vigilancia continua para no perder la menor partícula del cuarto de gramo de la sal de radio diluída en 56.000 kilogramos de materia. Si á esto se une el que sólo esta primera parte de la extracción dura unos dos meses y medio, fácilmente se comprenderá el elevado precio de las sales de radio, cuyo gramo se cotiza hoy en el mercado á la enorme suma de 400.000 francos.

Los residuos de la extracción del uranio contienen principalmente sulfato de plomo y de calcio, sílice, alúmina, óxido férrico, y en mayor ó menor cantidad, casi todos los metales que acompañan á la pechblenda (cobre, bismuto, zinc, cobalto, manganeso, niquel, vanadio, antimonio, talio, tierras raras, niobio, tantalio, bario, arsénico, etc.) El radio se encuentra en esta mezcla al estado de sulfato en cantidades infinitesimales, pero como sulfato es el más insoluble; compréndese fácilmente que por una serie de lavados convenientemente dirigidos, ya con ácidos, con disoluciones de sales alcalinas y con agua pura, los sulfatos más ó menos solubles se irán sucesivamente eliminando, quedando siempre el sulfato de radio como residuo de estos lavados.

Hé aquí la marcha propuesta por los Sres. Curie, actualmente

seguida en las fábricas de Javel é Ivry de la Sociedad Central de productos químicos, cuyos trabajos han sido organizados por Debierne y dirigidos actualmente por Haudepin.

1.° Se tratan los residuos indicados con ácido clorhídrico concentrado para disgregar las substancias que las forman y disolver la mayor parte de los sulfatos. De esta disolución se puede retirar el polonio y el actinio; el primero es precipitado con el ácido sulfhídrico y el segundo se encuentra en los hidratos precipitados con el amoniaco en la disolución separada de los sulfuros y peroxidada por el cloro. Se decanta esta disolución y el residuo que contiene el radio se lava con agua.

2.° Se mezcla este residuo con una disolución concentrada é hirviente de carbonato sódico, para transformar en carbonatos los sulfatos no atacados por el ácido clorhídrico.

3.° Se lixivia con agua el depósito obtenido y se ataca con ácido clorhídrico diluído exento de ácido sulfúrico. La disolución contiene el radio y algo de polonio y actinio. Fíltrese y precipítese con ácido sulfúrico; el precipitado obtenido está formado por los sulfatos brutos de bario radifero, impurificados por algo de cal, plomo, hierro y un poco de actinio arrastrado mecánicamente.

De una tonelada de residuos pueden obtenerse de 8 á 15 kilogramos de estos sulfatos, cuya actividad es de 30 á 60 veces la del uranio metálico,

4.° Se purifican los sulfatos procedentes de la operación anterior, hirviéndolos con una disolución concentrada de car-

bonato sódico, lavando á continuación el carbonato bárico radífero obtenido.

5.° Se disuelve el carbonato bari-rádico en el ácido clorhídrico y se pasa por la disolución una corriente de gas sulfhídrico, el cual produce un ligero precipitado de sulfuros activos que contienen polonio. La disolución filtrada y peroxidada con el cloro produce con el amoniaco un precipitado de óxidos é hidróxidos muy activos por causa del actinio.

6.° Filtrada esta última disolución, se precipita con carbonato sódico y el precipitado de carbonato bari-rádico después de lavado, se transforma en bromuro disolviéndole en ácido bromhídrico.

Aquí termina la primera parte de la extracción ó grueso tratamiento, que da por resultado de 6 á 8 kilogramos de bromuro bari-rádico por tonelada de residuos.

Pasemos ahora á la segunda parte, ó sean los fraccionamientos cuyo objeto es obtener bromuros bari-rádicos cada vez más ricos en radio. Esto se consigue por medio de cristalizaciones fraccionadas, operando primero con agua pura y después con agua adicionada de ácido bromhídrico. Se utiliza así la diferente solubilidad de los dos bromuros; el de radio como menos soluble cristaliza antes, por esto los primeros cristales que se depositan son los más activos.

El procedimiento operatorio es de los más sencillos. Se disuelven los bromuros bari-rádicos en agua destilada é hirviente hasta saturación, se cubre la cápsula y se deja enfriar para que la disolución cristalice, separando después por decantación los

cristales depositados, cuya actividad es 5 veces mayor que la del bromuro disuelto en el líquido.

Se repiten los fraccionamientos con el agua madre y con los cristales. La primera se concentra para cristalizarla nuevamente y los segundos se disuelven en agua destilada y se concentra la disolución para que produzca nuevos cristales.

Nos encontramos así en presencia de 4 productos representados por números en la tabla esquemática de la figura 3: un líquido (4) y cristales (3) procedentes del agua madre de la primera cristalización y un líquido (2) y cristales (1) que proceden de los cristales obtenidos en dicha primera cristalización.

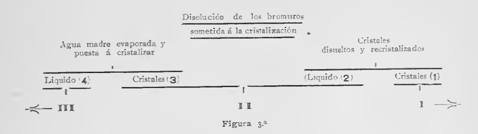


Figura 3.ª

Respecto á los productos disueltos en el agua madre de estos cristales (1), su actividad es próximamente igual á la de los cristales (3). Reúnense estas dos partes.

Se tienen así tres porciones I, II, III, las cuales se someten á un tratamiento análogo, indicado por la figura 3, cuyo fraccionamiento se prolonga obedeciendo siempre al mismo plan. Después de cada serie de operaciones, la solución saturada procedente de una porción, se reune á los cristales que provienen de la porción siguiente, consiguiéndose así el que los productos cada

vez más activos y los que lo van siendo menos, marchen en sentido inverso, tal como indica la tabla,

No se crea por lo expuesto que el fraccionamiento se prolonga indefinidamente, aumentando sin cesar el número de porciones. Cuando los productos empobrecidos (cola del fraccionamiento) no tienen más que una actividad insignificante se los elimina, haciendo otro tanto con las porciones enriquecidas (cabeza del fraccionamiento). De este modo se van progresivamente eliminando, por un lado, los productos muy poco activos, y por otro los ricos en radio.

A medida que el fraccionamiento avanza, disminuye con rapidez el volumen de materia sobre el cual se opera; á partir de este momento se sustituyen las cápsulas por los matraces cónicos, en los que el fraccionamiento es más ventajoso, llegándose así á obtener productos 1.000 veces más activos que el uranio metálico.

Estos primeros fraccionamientos constituyen el final de las operaciones de fábrica. Una tonelada de residuos, tratada por 5 de productos químicos y 50 de agua, proporciona 300 gramos de bromuro bari-rádico de una actividad igual á 1.000.

Estos productos pasan después al Laboratorio donde se continúan los fraccionamientos siguiendo la marcha indicada, hasta obtener un bromuro de radio que sólo contenga trazas infinitesimales de bario, cuya pureza se comprueba por el análisis espectral. Se obtiene así de uno á dos decígramos de bromuro de radio 1.800,000 veces más activo que el uranio.

Jaques Danne preparador de Curie ha encontrado cerca de Issy l'Évêque en la Saône y Loire unos yacimientos plombíferos exentos de uranio que encierran cantidades notables de radio (1). Los constituyentes radioactivos de estos terrenos, piromorfita (fosfato de plomo), arcillas plombíferas y pegmatita, predominando la primera, se encuentran en cantidad tal que Armet de Lisle ha podido establecer en Nagent-sur-Marne, una fábrica de producción de radio á base de dichas materias. Este descubrimiento presenta grandísimo interés porque hasta la fecha sólo se había encontrado el radio en los minerales uraníferos, y aun cuando los nuevos yacimientos son menos ricos en radio, que los de uranio, presentan en cambio la ventaja, de que los tratamientos que exigen para extraer de ellos el citado metal son más sencillos y económicos (2).

Sólo al estado salino, es como ha sido aislado el radio, pero ninguna dificultad existe para prepararlo al estado metálico, aplicando á su cloruro ó bromuro fundidos el procedimiento electrolítico, de tan brillantes resultados en la obtención de los metales alcalinos y alcalino-térreos.

Marckwald lo ha obtenido al estado de amalgama, electrolizando una disolución acuosa de cloruro de bario radifero, amalgama que posee las propiedades radioactivas de las sales rádicas, nuevo hecho que confirma la hipótesis, de que las propiedades de estas sales sólo dependen del atomo de radio.

---

(1) *Comptes rendus de l' Academie des Sciencies*, 23 Janvier 1905.

(2) *Le radium*, t. 2, n.° 2, p. 35.

No hemos de insistir en la preparación del polonio, pues aparte de no habérsele podido aislar en estado de pureza, su individualidad química se ha puesto en duda, ante el decrecimiento de su actividad con el tiempo y la carencia de espectro propio, hechos que han inducido á considerarlo como bismuto activado por el radio contenido en la pechblenda. No obstante, los trabajos de Marckwald parecen afirmar la individualidad química de este cuerpo al que le ha dado el nombre de radio-telurio, pero aun así quede la duda de si el radio-telurio de Marckwald es idéntico ó no al polonio de Curie. Y en cuanto al actinio ó emanio más raro aun que el radio, su preparación es larga y penosa sin que hasta la fecha se haya conseguido aislarle al estado de sal pura. Debierne, Giesel, Crookes y Becquerel han extraído de las sales de uranio, pequeñísimas cantidades de una substancia fuertemente radioactiva, y como el uranio purificado es menos activo que el impuro, y hasta parece que puede hacérsele perder toda su actividad, podría esto inducir á la sospecha de que el uranio no es radioactivo por sí, y que su actividad se debe á la presencia de cantidades mínimas de actinio.

El radio es pues el único de los cuerpos radioactivos que ha sido aislado en estado de pureza, y cuyo estudio espectroscópico llevado á cabo magistralmente por Demarçay ha conducido á resultado concluyentes. (1)

En el análisis espectral de las primeras muestras de cloruro

(1) DEMARÇAY, *Comptes rendus*, Decembre 1898, Juin 1900.

bárico débilmente radifero, observó Demarçay al mismo tiempo que el espectro del bario, una nueva raya de intensidad notable en la región ultraviolada; operando con productos cada vez más concentrados el espectro del radio fué aumentando con intensidad creciente y al llegar al cloruro rádico sensiblemente puro, las dos rayas dominantes del bario se pintaban con tal debilidad que apenas eran visibles, destacándose en cambio con toda claridad doce rayas características, entre las cuales tres se distinguen por su poderoso brillo, no superado por el de las rayas más brillantes de todos los cuerpos conocidos; esto unido á la presencia en el espectro de dos bandas luminosas, clasifica al radio entre los metales alcalino-térreos.

Basta lo expuesto para comprender el grado de sensibilidad que alcanza la reacción espectral del radio; no obstante, resulta tosca y de corto alcance, comparada con la delicadeza y sensibilidad de las indicaciones eléctricas, mientras que los aparatos de medida eléctricos, acusan la ínfima actividad de $\frac{1}{100}$, la fotografía del espectro del radio no aprecia su raya principal, mientras no se opere con productos cincuenta veces más activos que el uranio.

Según Giesel (1), el bromuro de radio tiñe de carmín intenso la llama del mechero de Bunsen, estando compuesto el espectro de esta llama de varias rayas rojas y anaranjadas. Ni el bismuto polonífero muy activo ni el torio actinífero, colorean la citada llama ni presentan reacciones espectrales.

---

(1) GIESEL, *Phys, Zetschrift*, 19 Septembre 1902.

La Sra. Curie (1) ha determinado el peso atómico del radio dosificando al estado de cloruro argéntico el cloro contenido en un peso dado de esta sal. Principió su trabajo determinando con toda exactitud el peso atómico del bario que encontró igual á 137,5. En sus primeras determinaciones operando con cloruros de 300 á 600 de actividad, el peso atómico encontrado para el radio no difería sensiblemente del asignado al bario, pero á medida que operaba con cloruros más activos el peso atómico buscado iba progresivamente aumentando, sirviéndole de guía el examen espectral para apreciar la pureza de los últimos productos analizados.

Los resultados obtenidos por la Sra. Curie, los resume la tabla siguiente:

ACTIVIDADES	PESOS ATÓMICOS	ESPECTRO
3.500	140	Espectro del radio, debil.
4.700	141	Espectro del radio, intenso, el de bario, domina.
7.500	145,8	
Orden de magnitud: 10^6	173,8	Los dos espectros iguales.
	225	Espectro del bario poco visible.

Dedúcese de estas determinaciones que el peso atómico del radio es $Ra = 225$ número considerado como exacto por la Sra. Curie, con un error menor de una unidad. Las pesadas

(1) Mme. Curie. *Comptes rendus,* Décembre 1898, Août 1900, 21 Juillet 1902. *Recherches sur les substances radioactives; presenté á la faculté des sciencies de* París, p. 40.

han sido hechas con una balanza aperiódica Curie, precisa á $\frac{1}{20}$ de milígramo, cuya balanza de lectura directa y pesada rápida permite despreciar la absorción lenta del agua por los cloruros de bario y radio anhidros.

El radio ha sido emplazado en la clasificación de Mendelceff en la columna vertical de los metales alcalino-térreos, debajo del bario y en la serie horizontal del uranio y torio antes de este metal, y en la clasificación ciclíca de Muñoz del Castillo viene á ocupar el puesto, vacío hasta el presente, señalado en el ciclo X para un elemento divalente positivo (1).

Las sales de radio tienen el mismo aspecto que las de bario, coloreándose con el tiempo, son luminosas en la obscuridad y desprenden constantemente calor.

Sus caracteres químicos son idénticos á los de las sales báricas, diferenciándose sólo por su solubilidad que generalmente es menor la de las sales de radio, excepción hecha de los nitratos cuya solubilidad en el agua es aproximadamente la misma.

La primera idea sugerida á los físicos ante el descubrimiento de la radioactividad, de esta nueva propiedad que posee la materia de emitir radiaciones capaces de atravesar los cuerpos

(1) MUÑOZ DEL CASTILLO. *Anales de la Sociedad española de Física y Química*. t. 1.º p. 215.

opacos, impresionar las placas fotográficas y ionizar el aire á la manera de los rayos X, fué el suponer que estos nuevos rayos eran de naturaleza análoga á los de Röntgen.

Otra de las hipótesis emitidas, fué el considerarlos como rayos ultravioletas de naturaleza especial, supuesto fundado en que los rayos ultraviolados comparten con las nuevas radiaciones la propiedad de descargar los cuerpos electrizados, pero esta hipótesis tuvo que abandonarse tan pronto se descubrieron y estudiaron las nuevas substancias fuertemente radioactivas en las que la intensidad de la energía radiada permitía estudiar la radiación á distancias más considerables, adquiriendo así el convencimiento de que estos nuevos rayos no cumplen con las leyes de la óptica; ni se reflejan ni se refractan. Un haz de rayos rádicos que atraviese un prisma, y se recibe sobre una placa fotográfica, no acusa la actiografía obtenida la más ligera desviación.

Por causa de un fenómeno curiosísimo que más adelante estudiaremos con el nombre de radioactividad inducida, no dió el método fotográfico indicaciones bastante claras, en los primeros comienzos de su aplicación, debido á una emisión de rayos secundarios que brota de todos los cuerpos próximos al radio ó á cualquiera otra substancia fuertemente radioactiva; rayos secundarios análogos á los S, pero de ordinario mucho más intensos. La misma placa fotográfica que sirve de receptor á la radiación rádica, emite semejantes rayos, causa de esa aureola esfumada que festonea la imagen obtenida, é impide fijar sus límites con exactitud.

Hay cuerpos como los metales densos y maleables y muy especialmente el plomo, que favorecen en alto grado la producción de estos rayos secundarios: en cambio hay otros y muy especialmente las substancias vitrificadas cuya emisión secundaria es muy débil.

La fosforescencia que la radiación del radio produce al actuar sobre determinadas substancias, permitió á Becquerel mayor rapidez en las observaciones y la ventaja de suprimir en muchos casos las manipulaciones fotográficas, pero este nuevo método de investigación no pudo ensayarlo, hasta que Curie no le hubo proporcionado muestras de bario radífero mucho más activas que las preparadas por él.



El método fotográfico ó actiográfico, como le llama el señor Muñoz del Castillo, fué así relegado el estudio de las acciones á grande distancia y con haces de rayos muy finos, pues en este caso hallándose debilitada la intensidad de la radiación é incapaz por tanto de provocar efectos fosforogénicos suficientemente intensos para que la vista pueda percibirlos, la placa fotográfica ofrece la singular ventaja de acumular las acciones con el tiempo, proporcionando así un documento susceptible de amplia y detenida información.

Ya en posesión Becquerel de este nuevo medio exploratorio, fundado en las propiedades fosforogénicas de la nueva radiación, trató de comparar sus efectos con los de la luz y los de los rayos X. Y al efecto observó que ciertas substancias como el sulfato uranílico-potásico y el sulfuro de estroncio de fosfores-

cencia verdosa, fosforecen por la accción de la luz, de los rayos X y los del radio, mientras que otras como el diamante, la blenda exagonal y un sulfuro de calcio de fosforescencia azul, muy fosforescentes por la acción de la luz y de los rayos rádicos, son completamente insensibles á los rayos X.

Cierto que, estos hechos susceptibles de multiplicarse, acusan cierta analogía entre las propiedades de los rayos luminosos y los del radio; los cuerpos sensibles á la acción fosforogénica de la luz son por lo general más sensibles á la acción del radio que á la de los rayos X. Pero al lado de esta analogía nos encontramos con una diferencia fundamental, ya anteriormente anotada y es que los rayos rádicos no obedecen á las leyes ópticas de la luz y en cambio parecen poseer propiedades ópticas, ó mejor anópticas, que comparten con los rayos Röntgen. No se puede, pues, asimilar la radiación del radio á ninguna de las radiaciones conocidas.

A esta misma conclusión conducen los estudios de Becquerel, sobre la absorción de los rayos rádicos por el acero y pantallas de diferente naturaleza. Por medio del método fluoróscopico observó el ilustre físico citado que la intensidad de la radiación rádica decrece con la distancia más rápidamente de lo que indica la ley ordinaria que rige las radiaciones conocidas; hay por tanto absorción de los rayos por el aire y esta absorción varía con la substancia fluorescente utilizada en el experimento, lo cual conduce á suponer que la radiación rádica se halla compuesta de rayos desigualmente absorbibles.

Otra larga serie de medidas empleando el mismo dispositivo,

sin variar la distancia del radio á las substancias fluorescentes, pero con interposición de pantallas absorbentes corroboraron de nuevo la deducción anterior.

Tomando como unidad la intensidad luminosa de cada substancia fluorescente excitada sin el intermedio de pantallas, observó Becquerel que para una misma pantalla existían diferencias profundas en la absorción de los rayos capaces de impresionar á dos substancias diferentes. Mientras una pantalla de papel negro absorbe las $\frac{99}{100}$ próximamente de la radiación que actúa sobre el diamante, sólo detiene las $\frac{6}{10}$ de la que actúa sobre el sulfato uránico-potásico; resultado demostrativo de que la radiación activa para el diamante es mucho más absorbible por el papel negro que la excitadora del sulfato uránico-potásico.

Resulta finalmente, de los trabajos de Becquerel, Von Schweidler, Giesel, Villard, Rutherford y el matrimonio Curie aplicando los métodos fotográfico y eléctrico que, la radiación del radio es muy compleja, comprendiendo tres partes distintas á las que Rutherford distingue con los nombres de rayos α, β y γ.

El adjunto esquema (Figura 4.ª) representación gráfica de un experimento realizado por Becquerel da clara idea de estos tres géneros de radiación. El radio R se coloca en el fondo de una cavidad profunda practicada en un bloque de plomo B, un haz de rayos rectilíneos y poco abierto emerge de esta cavidad. Si alrededor de la cubeta de plomo se establece un campo magnético uniforme muy intenso, situado detrás y normalmente al plano de la figura, los rayos α, β y γ se separan bajo la influencia

magnética conforme indica el grabado. Los rayos γ poco intensos é insensibles al campo magnético continúan su marcha rectilínea sin sufrir la más mínima desviación. Los rayos β son desviados en el mismo sentido que los rayos catódicos y describen en el plano de la figura trayectorias circulares, cuyos radios varían entre límites muy extensos. Por último, la radiación α forma un haz de rayos muy intensos desviados por la acción magnética en sentido inverso al de los catódicos y en el mismo que los rayos

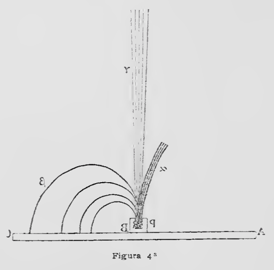


Figura 4.ª

canales (Canalstrahlen de Goldstein) y que por ser débilmente desviado por el campo magnético sus trayectorias tienen un radio de curvatura considerable.

Becquerel puso de relieve la existencia de los rayos β muy desviables por el campo magnético y la de los γ no desviables por medio del siguiente experimento. Colocaba una pequeña porción de sal de radio en el fondo de una ranura practicada

en un pequeño bloque de plomo, cubría la materia rádica, con una lámina de aluminio de una centésima de milímetro de grueso para detener su radiación luminosa y obturaba la ranura del bloque con dos láminas de vidrio de un milímetro de grueso lo suficientemente próximas para que sólo quedase entre sus bordes una abertura muy fina. Estando así todo dispuesto colocaba el bloque de plomo entre los polos de un electro-imán y sobre este bloque situaba una placa fotográfica, inclinada de modo, que recibiese todo el haz de rayos emanado de la hendidura, el cual era parcialmente desviado por la acción magnética. Transcurridos unos treinta minutos, obtenía según la intensidad del campo magnético y la inclinación de la placa dos impresiones fotográficas; una rectilínea correspondiente á los rayos γ y otra desviada hacia la derecha producida por los rayos β.

Resumiremos ahora lo concerniente á cada una de estas tres clases de rayos.

Los rayos α análogos á los rayos canales, son los que constituyen la mayor parte de la radiación rádica, el 64 °/o próximamente y los menos penetrantes; una lámina de aluminio de $0,1^{mm}$ de grueso los detiene en su marcha, y una capa de aire de 70^{mm} de espesor los absorbe por completo. No atraviesan las paredes de vidrio del tubo ó ampolla que contiene las sales de radio y son poco desviados por los campos magnético y eléctrico, aun cuando éstos sean muy intensos.

Rutherford en su trabajo publicado el 15 de Enero de 1903, consigna que en un campo magnético ó eléctrico muy intensos

los rayos α del radio son ligeramente desviados, cual lo serían las partículas materiales electrizadas positivamente y animadas de una gran velocidad. Deduce Rutherford de sus experimentos que la velocidad de los rayos α es de $2,5 \times 10^9$ ct. y que la relación $\frac{e}{n}$ de la carga eléctrica á la masa de la partícula es de 6×10^3, es decir, 10.000 veces mayor que para los rayos desviables β. Estos resultados han sido comprobados por Becquerel, el cual ha demostrado además que los rayos del polonio, se comportan en un campo magnético lo mismo que los α del radio y describen trayectorias, cuyo radio de curvatura parece ser el mismo que el de estos últimos á condición de que los campos magnéticos sean iguales.

Resulta de los trabajos de Becquerel que los rayos α constituyen una radiación homogénea, pues todos ellos son igualmente desviados por los campos magnético y eléctrico.

M. des Condres ha medido las desviaciones eléctrica y magnética de los rayos α del radio en el vacío, y como resultado de sus determinaciones, ha encontrado para la velocidad de los citados rayos $1,65 \times 10^9$ ct., próximamente la vigésima de la velocidad de la luz y para la relación de la carga á la masa $\frac{e}{m} = 64000$ unidades electromagnéticas; relación del mismo orden de magnitud que la encontrada para el hidrógeno en la electrolisis $\frac{e}{m} = 9650$. Luego si se admite que la carga eléctrica de cada proyectil constitutivo de los rayos α es la misma que la de un átomo de hidrógeno en la electrolisis, se deduce que la masa de esta partícula es del mismo orden de magnitud que la de un átomo de hidrógeno.

A estas partículas electrizadas ó proyectiles que constituyen los rayos α se deben los sorprendentes fenómenos que presenta la fosforescencia del sulfuro de zinc producida por la acción del radio. Nosotros hemos observado tan interesante fenómeno con el aparato inventado por Crookes llamamado *spinthariscopio* (del griego *spintharis* «centelleo» y *skopein* «examinar)» el cual se reduce á un pequeño tubo que lleva una lente en uno de sus extremos y en el otro una pantalla barnizada con sulfuro de zinc fosforescente; á medio milímetro de esta pantalla se halla una tirita metálica en cuyo extremo libre se ha fijado una pequeña partícula de sal de radio. Colocándose en la obscuridad y mirando por la lente se observa una debil claridad en el interior del tubo y sobre la pantalla una verdadera lluvia de puntos luminosos sumamente brillantes que aparecen y desaparecen continuamente, presentando la pantalla el aspecto de un cielo estrellado. Los puntos luminosos aparecen en mayor número en la región de la pantalla más próxima al radio y en la proximidad de la zona, donde la claridad parece continua.

Este fenómeno no es alterado por las corrientes de aire y se produce en el vacío; en cambio, desaparece por completo si se interpone un tabique, por delgado que sea, entre la sal de radio y la pantalla fosforescente.

Según Crookes, que ha sido el primero en observar tan curioso fenómeno, la aparición de cada punto luminoso sobre la pantalla fosforescente débese á la ruptura ó clivaje de una partícula cristalina del sulfuro zinc por el choque de un proyectil

aislado; clivaje que á su vez determina la aparición de un punto luminoso.

Siendo esto así, nos encontramos por vez primera con un fenómeno que permite distinguir la individual acción de una partícula de dimensiones comparables á las de un átomo. Los indicados puntos luminosos presentan el mismo aspecto que las estrellas ó los objetos ultramicroscópicos fuertemente iluminados, que no producen sobre la retina imágenes claras y definidas, sino manchas de difracción, hecho que se halla en perfecto acuerdo con la hipótesis de que cada punto luminoso es producido por el choque de un solo átomo.

Los rayos β menos numerosos que los rayos α, próximamente el 24 % de la radiación total, son más penetrantes que estos últimos y en absoluto análogos á los catódicos, aun cuando de mayor poder de penetración. Constituyen estos rayos un haz heterogéneo, cuyos componentes se diferencian por su distinto poder penetrante y desigual desviación en un campo magnético. Ciertos rayos β son absorbidos por una lámina de aluminio de algunas centésimas de milímetro de grueso, mientras que otros atraviesan láminas de plomo de algunos milímetros de espesor. Becquerel ha demostrado que los rayos más penetrantes, son los menos desviados por el campo magnético.

Si empleando el dispositivo experimental representado en la figura 4.ª se recibe sobre una placa fotográfica AC un haz de rayos β desviados por un campo magnético, la impresión obtenida constituye una banda ancha difusa, verdadero espectro,

continuo, revelador de que el haz de rayos β se compone de infinidad de rayos desigualmente desviables. Parte de este espectro desaparece cuando se recubre la placa sensible con diversas pantallas absorbentes (papel, vidrio, metales, etc.,) quedando así patentizado el hecho de que los rayos más desviables, es decir, aquellos cuya trayectoria tiene menor radio de curvatura, son los más intensamente absorbidos. La impresión sobre la placa fotográfica, no empieza para cada pantalla, sino á cierta distancia del manantial radiante, siendo tanto mayor esta distancia cuanto más absorbente sea la pantalla.

Ya dijimos en las primeras páginas de este discurso, que los rayos catódicos según había demostrado Perrin, se hallan cargados de electricidad; pero no es esto sólo: Perrin y Lenard han demostrado experimentalmente que estos rayos podían transportar su carga eléctrica á través de conductores metálicos en comunicación con la tierra y á través de láminas aisladoras. Allí donde los rayos catódicos son absorbidos, se produce un desprendimiento continuo de electricidad negativa.

Ahora bien, los Sres. Curie (1) han demostrado por un procedimiento ingeniosísimo, que los rayos desviables β del radio transportan como los catódicos cargas de electricidad negativa, siéndoles por tanto aplicables la hipótesis balística formulada por Crookes y desarrollada y completada por J. J. Thomson, según la cual, los rayos β del radio son producidos por la emisión

(1) M. et Mme. Curie *Comptes rendus*, 5 de Mars 1900.
M. Curie, *Recherches sur les substances radioactives*, p. 59 y 60,

de corpúsculos electrizados negativamente (electrons), pero cuya masa según luego diremos es menor que la de los catódicos, dos mil veces menor que la del átomo de hidrógeno, y animados de una velocidad comparable á la de la luz.

Una muestra de radio encerrada en una envuelta de vidrio delgada y perfectamente aislada debe cargarse espontáneamente á un potencial muy elevado. Según la hipótesis balística el potencial aumentará, hasta que la diferencia de potencial con los conductores que le rodean sea suficiente para impedir el alejamiento de los corpúsculos electrizados emitidos obligándolos á regresar al manantial radiante.

Los Sres. Curie han evidenciado casualmente este hecho, al abrir un tubo que contenía desde larga fecha, una muestra de radio muy activa; al hendir la pared del tubo con el borde de una lima, percibieron el ruido y el fulgor de una chispa eléctrica que había perforado el vidro en la parte adelgazada por el trazo, fenómeno análago al producido por una botella de Leyden cuando se halla fuertemente cargada. En otra ocasión y con el mismo motivo llegó á percibir en sus dedos el Sr. Curie la sacudida eléctrica originada por la descarga.

El radio es el primer caso de un cuerpo que espontáneate se carga de electricidad.

Siendo los rayos β del radio análogos á los catódicos, deben ser desviados por un campo eléctrico del mismo modo que estos últimos, es decir, como lo sería una partícula material cargada de electricidad negativa y lanzada al espacio con una gran

velocidad. Estas deducciones teóricas han sido comprobadas experimentalmente por Dorn y Becquerel (1).

Consideremos un rayo que atraviesa el espacio comprendido entre los dos platillos de un condensador y en dirección paralela á éstos. Si entre los platillos se establece un campo eléctrico, el rayo es sometido á la acción de este campo uniforme en toda la longitud comprendida entre los dos platillos. Sea l esta longitud. En virtud de la acción eléctrica, el rayo es desviado hacia el platillo positivo describiendo un arco de parábola, pero al salir del campo, continúa su camino en línea recta, siguiendo la dirección de la tangente á la curva en el punto de salida. Si se recibe este rayo sobre una placa fotográfica situada normalmente á su dirección primitiva y se observa la impresión producida sobre la placa, cuando el campo es nulo y cuando posee un valor conocido, se tienen los datos suficientes para deducir el valor de la desviación d en función del campo eléctrico, desviación que estará dada por la distancia existente entre los puntos en que el rayo primitivo y el desviado encuentren un mismo plano normal á la dirección primitiva, esto es; la distancia que existe entre las dos impresiones fotográficas. Siendo h la distancia de la placa al condensador, es decir; el límite del campo, se tiene el valor de δ por la fórmula:

$$\delta = \frac{eFl\left(\frac{l}{2} + h\right)}{mv^2}$$

en la cual m representa la masa de la partícula en movimiento,

---

(1) BECQUEREL, *Comptes rendus*, t. CXXX, p. 819.

e su carga, v su velocidad y F el valor del campo. Así ha conseguido Becquerel obtener un valor aproximado de $\dot{\varepsilon}$. Este mismo físico ha estudiado también la relación que existe entre la masa del corpúsculo emitido por el radio y su carga eléctrica (1).

Si una partícula cuya masa es m y su carga eléctrica e, atraviesa con una velocidad v siguiendo una trayectoria de radio curvatura ρ un campo magnético uniforme normal á su velocidad inicial y de intensidad H; se tiene la conocida relación $\frac{m}{e}v = H\rho$.

Midiendo para un mismo rayo la desviación eléctrica D y el radio de curvatura ρ en un campo magnético, se puede deducir de estos dos experimentos los valores de la relación $\frac{e}{m}$ y de la velocidad v.

Becquerel ha obtenido para $\frac{e}{m}$ un valor aproximado á 10^7 unidades electromagnéticas absolutas; y para v un valor igual á $1{,}6 \times 10^{10}$, valores del mismo orden de magnitud que los obtenidos para los rayos catódicos.

Otros experimentos muy precisos sobre el mismo asunto han sido realizados por Kaufman. Este físico ha sometido un haz muy estrecho de rayos rádicos á la acción simultánea de dos campos, uno eléctrico y otro magnético, ambos uniformes y en una misma dirección normal á la dirección primitiva del haz. La impresión producida sobre una placa sensible situada normalmente á la dirección primitiva del haz y colocada fuera de los límites

---

(1) *Comptes rendus* t. CXXX, p. 206.

del campo toma la forma de una curva, cuyos puntos corresponden á otros tantos rayos del primitivo haz heterogéneo. Los rayos más penetrantes y menos desviables son los que poseen mayor velocidad.

Resulta de los trabajos de M. Kaufman que para los rayos del radio cuya velocidad es notablemente superior á la de los catódicos la relación $\frac{e}{m}$ decrece cuando la velocidad aumenta,

Según los trabajos de J. J. Thomson y de Townsend debe admitirse que la partícula en movimiento que constituye los rayos del radio posee una carga igual á la transportada por un átomo de hidrógeno en la electrolisis siendo esta carga la misma para todos los rayos, deduciéndose de aquí, que la masa de la partícula aumenta cuando crece la velocidad.

Estas consideraciones teóricas conducen á considerar que la inercia de la partícula se debe precisamente á su estado de carga en movimiento, no pudiendo modificarse la velocidad de una carga eléctrica en movimiento sin gasto de energía. Ó dicho de otro modo, la inercia de la partícula, es de origen electromagnético y la masa de la partícula es, por lo menos en parte, una masa aparente ó masa electromagnética; y según M. Abrahan es por completo electromagnética. Si conforme á á esta hipótesis se calcula el valor de esta masa m para una velocidadad conocida v, se deduce que m tiende hacia el infinito, cuando v se aproxima á la velocidad de la luz, y que m tiende hacia un valor constante cuando la velocidad v es muy inferior á la de la luz. Los resultados experimentales de Kaufman con-

cuerdan perfectamente con las deducciones de esta teoría, cuya importancia es tal, que permite prever la posibilidad de establecer las bases de la mecánica sobre la dinámica de pequeños centros materiales cargados (electrons) en estado de movimiento.

Kaufman deduce de sus investigaciones que el valor límite de la relación $\frac{e}{m}$ para los rayos del radio de velocidad relativamente débil es el mismo que el $\frac{e}{m}$ para los rayos catódicos y que ciertos rayos β del radio poseen una velocidad muy próxima á la de la luz, lo cual explica su gran penetración.

Siendo pues, 1.865×10^7 unidades electromagnéticas el valor de la relación $\frac{e}{m}$ para los rayos catódicos y para los rayos β más lentos, este valor es dos mil veces mayor que el obtenido en la electrolisis. Si la carga de la partícula cargada negativamente, se supone la misma que la de un átomo de hidrógeno, su masa límite para las velocidades relativamente débiles, será desde luego cerca de dos mil veces más pequeña que la de un átomo de hidrógeno.

Los proyectiles que constituyen los rayos β son mucho más pequeños y animados de velocidad muy superior que los constituyentes de los rayos α, comprendiéndose así que los primeros sean mucho más penetrantes que los segundos.

De la fórmula $\frac{mv}{e}$Hρ se deduce que para que la intensidad del campo magnético H permanezca constante, tiene que ser tanto mayor el radio de curvatura de la trayectoria ρ ó lo que es lo mismo tanto más pequeña la desviación por el campo magnético, cuanto mayor sea el valor de $\frac{mv}{e}$

Los rayos catódicos que forman una parte de la radiación β son poco desviados, aun cuando su masa es muy pequeña, porque su velocidad es muy grande. Los rayos α tienen según Rutherford una carga e igual á los precedentes, pero su masa es mucho mayor lo que explica su poca sensibilidad á la influencia magnética.

Los rayos γ descubiertos por Villard (1) sólo constituyen el 10 % de la radiación total, son análogos á los de Röntgen pero de una penetrabilidad incomparablemente más grande, mientras que éstos son detenidos por una lámina de plomo muy delgada aquellos atraviesan láminas de plomo de varios centímetros de espesor.

Lo mismo que los rayos X, no son desviados por los campos magnético ni eléctrico, y cuando encuentran un obstáculo en su camino, producen rayos secundarios análogos á los de Sagnac. Impresionan las placas fotográficas, pero débilmente cual corresponde á su poder penetrante y escasa absorción debiéndose muy principalmente su acción reductora sobre la sal de plata, á los rayos secundarios que producen al contacto del vidrio, pues la delgada capa de gelatina-bromuro, es incapaz de transformar por su propia absorción la energía de los rayos γ en trabajo químico.

A este propósito ha realizado Becquerel el experimento siguiente, cuyo resultado parece á primera vista paradógico. Se coloca en el centro de una placa fotográfica sobre la capa sensible

(1) *Comptes rendus, de l'Academie de Sciences*, t. CXXX, p. 102.

una lámina de plomo de un milímetro de grueso aproximadamente, y se somete la placa así dispuesta á los rayos γ aislados, lo cual fácilmente se consigue absorbiendo los rayos α con una lámina de aluminio y desviando los β con un campo magnético intenso. Revelada la placa se observa que la parte del cliché cubierta por la lámina de plomo y que parecía estar protegida contra la acción de los rayos es más fuertemente impresionada que el resto, cuyo resultado demuestra la transformación de los rayos absorbidos por el plomo en otros más absorbibles y por consecuencia más activos que los rayos γ.

Todos los resultados experimentales concuerdan con la hipótesis admitida de que los rayos γ son rayos Röntgen muy penetrantes que tienen su origen en el átomo de la substancia radioactiva en el momento de la expulsión de la partícula β ó catódica.

Según Rutherford la producción de estos rayos precede al último cambio experimentado por el átomo de radio, el cual se manifiesta por la producción de productos radioactivos resultantes de la disgregación de este átomo.

Según la hipótesis desarrollada por Stokes y J. J. Thomson acerca de la naturaleza de los rayos Röntgen, los rayos γ se producen tanto á la partida como á la parada bruscas del electron ó partícula β. Como resultado de esta expulsión súbita de la partícula β del radio se producirá una estrecha pulsación electromagnética, es decir, un tipo poderoso ó penetrante de rayos Röntgen.

Vemos por lo expuesto que el radio emite las mismas radiaciones producidas en los tubos ó ampollas de Crookes al atravesar la descarga eléctrica atmósferas gaseosas enrarecidas. No sucede así con los demás cuerpos radioactivos, pues á excepción del actinio que parece emitir las mismas radiaciones α β y γ que el radio, el polonio sólo emite rayos α y γ y el uranio y torio los β y γ.

Conforme al plan sistemático que nos hemos trazado, no deberíamos dar por terminada esta parte de nuestro trabajo, sin decir algo de las investigaciones realizadas por los Sres. Curie, Meyer y Von Schweidler acerca de la absorción de los rayos del radio y de los emitidos por las otras substancias radioactivas, pero ante el temor de darle proporciones desmesuradas, omitimos todo lo referente á este asunto y pasamos á exponer los efectos físicos y químicos de las nuevas radiaciones.

Establecida la analogía existente entre las radiaciones de las substancias radioactivas y las producidas en los tubos de Crookes, fácilmente se comprende que muchos de los efectos físicos y químicos producidos por los rayos Becquerel, han de ser los mismos que los originados por los rayos catódicos, canales y Röntgen, sin otra diferencia que la de la intensidad del efecto producido en consonancia con la energía del agente originario del fenómeno.

Así sucede en efecto, con algunos de los efectos luminosos producidos por el radio, que han de ser los primeros que he de someter á vuestra ilustrada consideración. Dos órdenes de fenómenos tenemos que considerar aquí; la fluorescencia y la luminiscencia.

Ya los Sres. Curie en sus primeros experimentos observaron la fluorescencia que bajo la acción del radio y del polonio presentaba una pantalla recubierta de platinocianuro de bario, fluorescencia que se producía aun cuando se interpusiera entre la indicada pantalla y el manantial rádico una hoja muy delgada de aluminio.

Es este fenómeno enteramente análogo al producido con los rayos X; todas las substancias susceptibles de fluorescer por la radiación Röntgiana, como las sales alcalinas y alcalino-térreas fluorescen bajo la influencia de las radiaciones rádicas (1).

Becquerel ha observado así mismo la fluorescencia de las sales uránicas, blenda, papel, algodón y vidrio, siendo digno de anotarse bajo este respecto el vidrio de Thuringe, cuya fluorescencia es notable. Pero de todas las substancias enumeradas las que presentan el fenómeno con más intensidad son el sulfato de uranilo, el sulfuro de zinc y el platinocianuro de bario, éste último hasta el punto de que muestras de radio muy activo determinan la fluorescencia de una pantalla de platinocianuro de bario colocada á dos metros de distancia y á través del cuerpo humano.

---

(1) BARY. *Comptes rendus*, t. CXXX, 1900, p. 776.

Otra de las substancias en alto grado fluorescentes por la acción del radio es el diamante, propiedad que puede utilizarse en joyería de modo más fácil que con los rayos X, para distinguir esta piedra preciosa de sus imitaciones en *stras* mucho menos fluorescente.

Es un hecho constantemente observado el decrecimiento que con el tiempo experimenta la intensidad luminosa de las substancias fluorescentes expuestas á la acción de las substancias radioactivas, hasta llegar en algun caso, como ocurre con el sulfuro de zinc, á la desaparición completa del fenómeno luminoso. Al mismo tiempo que la fluorescencia disminuye, la substancia se transforma, quizás isoméricamente, siendo muy probable que en esta transformación radique la causa de ese decrecimiento en su poder fluorescente.

Así ocurre con el platinocianuro de bario, que bajo las radiaciones rádicas toma color pardo volviéndose menos luminoso (acción idéntica á la producida por los rayos Röntgen y descrita por Villard.) Esta alteración del platinocianuro bárico desaparece parcialmente por la luz, recuperando en parte el poder luminoso perdido.

Otro tanto acontece con el vidrio, cuya fluorescencia decrece, á la par que adquiere una coloración parda ó violeta. Si el vidrio así alterado se calienta, se decolora por completo, adquiriendo de nuevo la fluorescencia perdida en el mismo grado que antes de la transformación.

Es caracter común de todos los compuestos bari-rádicos

el ser espontáneamente luminosos (1) sobresaliendo en este sentido las sales haloideas anhidras y secas, cuyo poder luminoso si bien no es lo suficiente intenso para ser percibido en plena luz diurna, es muy ostensible en la obscuridad hasta el punto de permitir la lectura de los caracteres de imprenta, y en las habitaciones alumbradas con luz artificial.

Esta luz emana de toda la masa del producto radifero, á diferencia de lo que sucede con las substancias fosforescentes ordinarias, cuya emisión luminosa sólo tiene lugar en la superficie que ha sido iluminada. La humedad les hace perder en gran parte este carácter, pero según Giesel lo adquieren de nuevo y en toda su integridad por la desecación.

Bary ha dado una explicación muy racional de tan curioso fenómeno. Atribuye este físico la emisión luminosa de los compuestos bari-rádicos, á la fluorescencia de las sales báricas producida y sostenida por el compuesto rádico con quien están mezcladas. Tan satisfactoria explicación, tiene en su apoyo el hecho de no ser luminoso el bromuro de radio puro, es decir, exento de sales báricas.

El poder luminoso de los productos poco activos parece conservarse indefinidamente, siempre que se guarden en tubos cerrados y en la obscuridad; mas no sucede así con los productos muy activos, pues transcurridos unos meses la luz emitida va cambiando de tinte tornándose violeta y debilitándose conside-

(1) Curie, *Societé de Physique*, 3 de Mars 1899.
Giesel, *Wied Ann*, t. LXIX, p. 91.

rablemente; al mismo tiempo el producto se transforma de blanco que era al principio, amarillea primero y azulea después, pero basta disolverlo en agua y desecarlo de nuevo para devolverle su color y luminosidad primitivas.

También las soluciones de las sales bari-rádicas son luminosas en la obscuridad, singularísimo hecho no conocido hasta ahora.

El radio constituye por tanto el primer ejemplo de un cuerpo espontáneamente luminoso.

Las acciones fotográficas producidas por las sales de radio y demás subtancias radiactivas es otro asunto de grandísimo interés, por servir de base á todo género de investigaciones y por sus aplicaciones más numerosas cada día. El material exigido por este nuevo sistema radiográfico, es en extremo sencillo y se halla al alcance de los medios económicos más modestos. Una simple ampolla ó tubo que contiene la materia radioactiva y unas cuantas placas fotográficas constituyen el material necesario para obtener las nuevas radiografías, comparables bajo todos aspectos á las obtenidas con los rayos X que, como es sabido, exigen el empleo de aparatos pesados y costosos, de transporte difícil y muy delicada manipulación. Esto unido á la constancia perfecta de la radiación emitida por el cuerpo radioactivo, tanto bajo el punto de vista de la cualidad como de la cantidad, á la facilidad de dosificar y regular la cantidad de rayos que ha de actuar sobre la

placa y á la extremada sencillez de las manipulaciones puestas al alcance de los menos versados en la experimentación científica, hace que los nuevos procedimientos radiográficos vayan suplantando ventajosamente á los antiguos fundados en el empleo de los rayos X, minándoles con rapidez el vasto campo de sus aplicaciones.

La objeción que bajo el aspecto económico pudiera hacérsenos, dado el elevado precio de las substancias fuertemente radioactivas, la destruye el hecho de no ser necesarias tan activas substancias para las aplicaciones radiográficas; sales radíferas 50, 100 ó 1.000 veces más activas que el uranio basta y sobra para este objeto.

Dicho se está que el tiempo necesario para que la placa se impresione ha de estar subordinado al poder radioactivo de la substancia empleada; con actividades como las indicadas más arriba, la exposición ha de ser de algunas horas; con actividades mayores 10.000 ó 100.000 veces la del uranio, este tiempo se reduce considerablemente y bastan sólo unos minutos si se opera con substancias muy activas.

Otro tanto ocurre con la distancia á que se ha de colocar la placa, del manantial rádico, la cual ha de ser tanto mayor cuanto más activo sea este.

Entrando ya en la parte práctica de la operación, debemos hacer constar que sea cualquiera el dispositivo que se emplee, el mecanismo de la manipulación es el siguiente. Se coloca el objeto que se va á radiografiar sobre una placa fotográfica envuelta en

una hoja de papel negro y por encima del objeto y á distancia conveniente de la placa, se sitúa la sal radífera contenida en un pequeño tubo ó ampolla de vidrio y mejor de celuloide ó ebonita, por ser estas substancias más transparentes á la radiación. Se gradúa la distancia de la ampolla á la placa en relación con la actividad de la sal empleada y el área de la superficie que se va á radiografiar: transcurrido que sea el tiempo necesario para que la placa se impresione, se revela y fija la imagen.

Tales son las sencillísimas operaciones que hay que practicar para obtener radiografías con los cuerpos radioactivos, y claro está que en harmonía con tal simplicidad ha de hallarse la de los aparatos ó dispositivos utilizados con tal fin. Uno de ellos, sin duda alguna el más empleado, es el construído por Luis Ancel, que se reduce á una placa fotográfica con su envoltura de papel negro, sobre la cual se coloca el objeto que se va á radiografiar y una pirámide cuadrangular hueca de plomo destinada á cubrir la placa y el objeto, en cuyo vértice lleva un gollete ó cuello por donde se introduce la ampolla radífera.

Este sencillo aparato lo hemos simplificado más aún en nuestros experimentos, sustituyendo la pirámide de plomo por un embudo ordinario de vidrio, por cuyo pico introducíamos el tubo con la sal radífera sujeto al extremo de un fino alambre, que fijábamos á la distancia conveniente con el auxilio de un corcho.

Con tan sencillo mecanismo y operando con un decígramo de bromuro bari-rádico 3.000 veces más activo que el uranio,

situado á 5 centímetros de la placa hemos obtenido en el transcurso de doce á catorce horas pruebas radiográficas de varios objetos bastante claras y definidas.

Sowter emplea una caja de cartón donde deposita la sal activa y sobre la caja coloca la placa y el objeto que se va á radiografiar.

De las tres clases de rayos emitidos por el radio, sólo los β y γ son los utilizados en las condiciones operatorias expuestas; los α en virtud de su fácil absorción no llegan á traspasar la pared del tubo que contiene la sal radífera. Á las radiografías así obtenidas les falta nitidez y precisión en los detalles, pues al atravesar los rayos β el objeto que se va á radiografiar esperimentan una difusión originaria del esfumado que se observa en la imagen.

Para corregir este defecto, precisa suprimir los rayos β colocando la ampolla radífera entre los polos de un fuerte electroimán que al desviar los citados rayos quedan sólo los γ para producir la imagen; pero como estos rayos sólo constituyen una débil parte de la radiación total se necesita aumentar la exposición de la placa tanto más cuanto más distante se halle del manantial radiante. Las radiografías así obtenidas son de una limpidez y precisión admirables. Con substancias no muy activas, el experimento dura algunos días; con 3 ó 4 centígramos de sal de radio pura contenida en tubo de vidrio distante un metro de la placa, se necesita un día para radiografiar un objeto tal como un portamonedas y sólo una hora si la distancia es de 20 centímetros.

Boulay ha sustituído en parte la selectora acción de los imanes, empleando como manantial activo, no la sal rádica pura, sino en mezcla con el sulfuro de zinc fosforescente. Así ha conseguido obtener con rapidez radiografías bastante limpias, debido á que el sulfuro de zinc absorbe una parte de los perjudiciales rayos.

No he de terminar la exposición de tan interesante asunto sin consignar estas dos observaciones. Es la primera que en virtud de la gran opacidad de los metales á la radiación rádica, exceptuando el aluminio que es transparente, los objetos metálicos son en general los mejor radiografiados, y la segunda que por no existir grandes diferencias de transparencia entre los huesos y los tejidos blandos, la radiografía del cuerpo humano no permite distinguir el esqueleto.

Por último, la gran transparencia del diamante á los rayos del radio, ha sido el fundamento de una feliz aplicación del método fotográfico para distinguir en joyería dicha piedra preciosa de sus imitaciones en *stras*, cuarzo, corindon, granate decolorado etc, mucho menos transparente. Por causa de la transparencia indicada, el diamante no deja huella alguna sobre la placa fotográfica, una vez revelada, mientras que las substancias empleadas para imitarle, impiden por su opacidad la impresión de la placa en el sitio que ellas ocupan, dejando una huella ó imagen negativa tanto más clara, después del revelado, cuanto mayor sea su opacidad.

Hemos dicho que el radio emite espontáneamente electricidad y luz, y ahora añadiremos que también desprende calor espontánea y continuamente. Basta introducir en un recipiente Dewar unos decígramos de bromuro rádico para que la temperatura del interior del vaso se eleve tres grados sobre la del ambiente.

Y no se crea, como á primera vista pudiera parecer, que el calor emitido por el radio tenga su origen en una transformación de sus otras radiaciones, pues la magnitud del calor desprendido excluye semejante hipótesis.

Resulta de las determinaciones de Curie y Laborde operando con el calorímetro de Bunsen, que un gramo de bromuro de radio desprende 80 pequeñas calorías en el transcurso de una hora cantidad de calor que transformada en energía mecánica sería capaz de elevar dicho peso de bromuro rádico á 34 kilómetros de altura.

Si un gramo de bromuro rádico desprende 80 calorías en una hora, el átomo gramo de radio (225 grs.) desprenderá en el mismo tiempo 18.000 calorías, esto es, la cantidad de calor que se produce en la combustión de un átomo gramo de hidrógeno. Resultados que comprueban cuán grande es el poder térmico de este maravilloso cuerpo, tanto más anómalo y extraordinario cuanto con más profundidad se estudie.

Fenómeno sorprendente en alto grado es el que ahora nos ofrece el radio con ese desprendimiento espontáneo y continuo de calor, sin que aparentemente se vea de donde procede, pero lo que más sorprende y coloca al radio fuera del nivel de todos

los cuerpos conocidos, es que esta emisión térmica se efectúa con la misma intensidad á todas las temperaturas, aun á las más bajas que se han podido producir. Una ampolla de vidrio conteniendo un gramo de bromuro de radio sumergida en el hidrógeno líquido (−253°) desprende las mismas 80 calorías por hora que á la temperatura ordinaria. (Curie y Dewar.)

Luego á la temperatura enormemente baja de −253° conserva el radio toda su actividad, mientras que los demás cuerpos en estas condiciones se manifiestan completamente inactivos bajo todos aspectos, incluso el químico.

Y ocurre ahora preguntar. ¿De dónde viene este calor? Desechado por absurdo el supuesto de que este calor provenga de una transformación de las otras radiaciones del radio y no efectuándose en el seno de este misterioso cuerpo reacción química visible; ¿cuál es el origen de este considerable y continuo desprendimiento térmico?

Para contestar á esta pregunta preciso es entrar en el terreno de las hipótesis y ya dentro de él, diremos por adelantado, sin perjuicio de estudiar luego á fondo el aspecto teórico de esta cuestión, que entre las diversas hipótesis formuladas para contestar á la pregunta expuesta, la más admisible es la que atribuye el fenómeno térmico á una transformación del átomo de radio en átomos de otros cuerpos, quizá el helio, según parece deducirse de los trabajos de Ramsay y Soddy.

Y si esto es así, si es en efecto cierta esta destrucción del átomo de radio, dando origen á nuevos elementos, hay que

convenir en que esta disociación atómica, se realiza con lentitud extraordinaria, pues según las observaciones de J. J. Thomson, para que una superficie de un centímetro cuadrado de radio pierda solo un milígramo de este cuerpo, se necesita el transcurso de un millón de años.

A propósito de la energía potencial del radio el Sr. Gony profesor de la Facultad de Ciencias de Lyon dice lo siguiente: «El día en que nos sean conocidas las circunstancias en que se opera la destrucción del átomo de radio y esté á nuestro alcance el activarlas ó detenerlas, ese día tendremos en el radio y en sus análogos uranio, polonio, actinio y torio el más violento explosivo conocido hasta aqui. Un gramo de radio, destruyéndose instantáneamente, basta para volar en menudísimos fragmentos el edificio más sólidamente construído; tal es la violencia de la explosión.»

Edmundo Seux, miembro de la Sociedad astronómica de Francia, partiendo del hecho de que un gramo de radio desprende 800.000 calorías en un año, admite la posibilidad de que el calor terrestre sea originado por la existencia de grandes depósitos de radio en el interior de la tierra y á la misma causa atribuye un papel principal en los fenómenos geológicos. Á este propósito dice: «Sin quitar importancia á la hipótesis que supone al vapor de agua como causa esencial de los terremotos y erupciones volcánicas, puede así mismo admitirse que las explosiones violentas, las sacudidas verticales de la corteza terrestre en dirección de abajo á arriba, similares á las producidas por la explosión de un barreno y de las cuales al vapor de agua se

juzgaba el único culpable, pueden también atribuirse á la rápida disociación de depósitos de radio, ó de otras substancias radioactivas, las cuales bajo la influencia de sales alcalinas (la mayor parte de los volcanes en actividad se hallan próximos al mar) se resuelven instantáneamente en elementos más simples, transformación acompañada de un desprendimiento tal de energías calorífica y mecánica que nos sorprende por sus grandiosos efectos.»

«La presencia del radio y de otras materias radioactivas en las aguas minerales oligo-metálicas de Bath, (Inglaterra) viene á dar gran valor á nuestra hipótesis por el largo tiempo que las aguas minerales, se encuentran en la proximidad de los macizos volcánicos »

La emisión espontánea y continua de energía producida por el sol, ha sido otro de los asuntos que más han preocupado á los sabios de todas épocas, como lo prueba el gran número de hipótesis propuestas para esclarecer hecho tan misterioso.

El descubrimiento de las substancias radioactivas y el estudio de sus singulares propiedades, parece dar la clave descifratoria de este enigma, cuya resolución se vislumbra ante el descubrimiento del radio en la fotosfera solar y de las emanaciones radiales en la corona de éste astro llevado á cabo por Snyder, profesor del observatorio de Filadelfia y comunicado á la American Philophical Society.

Las investigaciones espectroscópicas de Snyder, han venido pues á confirmar un hecho del cual no se tenían otros indicios que la existencia en el sol de grandes cantidades de helio.

Es cierto que la radiación solar que llega hasta nosotros no contiene rayos de penetración análoga á la observada en la radiación del radio y demás cuerpos radioactivos, pero esto no destruye en nada la verosímil hipótesis de que la energía solar sea producida por las substancias radioactivas existentes en el sol, pues aun cuando éste astro sólo estuviese constituído por radio puro, únicamente los rayos γ, es decir, los más penetrantes son los que llegarían en cantidad algo apreciable á la superficie de la tierra, pues los α y β serían completamente absorbidos por la atmósfera terrèstre.

Fundándose Wilson en las determinaciones calorimétricas de Curie y Laborde, respecto al calor emitido por el radio y en las deducciones de Angley según las que, cada centímetro cuadrado de superficie solar emite $8{,}28 \times 10^6$ calorías por hora, ha calculado que basta la presencia de $3{,}^{grs}6$ de bromuro de radio por metro cúbico de masa solar para explicar la totalidad de energía emitida por el sol.

Teniendo en cuenta Darwin que la energía solar debe decrecer con el transcurso de la disgregación atómica, ó por lo menos cesar en un momento determinado, ha llegado á calcular el tiempo necesario para este agotamiento de energía.

Ya en otra ocasión Lord-Kelwin admitiendo una dispersión infinita del calor solar, llegó á calcular por un método dinámico que el sol podia aún enviarnos sus rayos durante quinientos millones de años. Este cálculo supone que el sol no recibe ingreso alguno de calor, mas si se admite por exigencia de los hechos que

el sol contiene substancias radioactivas el cálculo anterior debe modificarse.

Darwin admite que la energía perdida por el sol, supuesto una esfera homogénea de masa M y de radio α es de $\frac{3}{5}$ μ. $\frac{M^2}{a}$ siendo μ la constante de gravitación. Efectuadas las operaciones indicadas en esta fórmula después de substituir las letras por los valores numéricos, se deduce una pérdida de energía igual á $2{,}7 \times 10^7 M$ calorías estando M expresado en gramos. Admitiendo el número precedente de Langley, este calor basta para sostener el calor solar durante 12 millones de años.

Rutherford ha calculado que la energía que queda libre al destruirse un gramo de radio se halla comprendida entre 2×10^5 y 5×10^{10} pequeñas calorías.

Suponiedo que análogas cantidades de energía existan en los átomos de los elementos inactivos cuya disgregación atómica puede producirse á la elevada temperatura del sol, se llega á deducir que la disgregación completa de la masa solar podrá transmitirnos su energía durante un tiempo 50 ó 500 veces mayor que el calculado por Lord-Kelwin, partiendo de consideraciones puramente dinámicas.

Otro de los efectos físicos producido por los rayos Becquerel es el ionizar el aire y los demás gases; fenómeno que consiste en la disociación electrónica de los átomos gaseosos en sus electrons positivos y negativos, susceptibles de moverse en un campo eléctrico siguiendo caminos distintos; los electrons positivos en la dirección de las líneas de fuerza y los negativos en sentido inverso; esto origina dos corrientes eléctricas de convección, causa de la conductibilidad eléctrica adquirida por el gas. Los electrons tienen la propiedad de condensar el vapor de agua, pero en grado mayor los electrons negativos, carácter que ha utilizado Thomson para separar unos electrons de otros y para medir la carga eléctrica de un solo ion.

Esta acción ionizante de los rayos del radio que nos ha servido de base para investigar las substancias radioactivas y para medir su poder radioactivo, puede demostrarse ante numerosa concurrencia practicando el siguiente experimento de Curie.

Se enlazan en derivación dos micrómetros de chispa con los polos de una bobina de inducción; una vez cerrado el circuito se observa que el mismo número de chispas estalla en cada uno de los micrómetros; mas si se aproxima á uno de ellos una ampolla con sal de radio las chispas eléctricas cesan de estallar en el otro. Débese este fenómeno á que en virtud de la conductibilidad adquirida por el aire que rodea al primer micrómetro, el camino ofrecido por éste á la descarga eléctrica, es menos resistente al paso de la electricidad.

Para el éxito de este experimento, no disponiendo de mues-

tras de radio muy activo, conviene limitar la atmósfera que rodea los extremos del micrómetro donde se aproxima el radio por medio de un globo de vidrio tritubulado, tal como indica la Figura 5.ª, dispositivo que facilita la ionización de la indicada

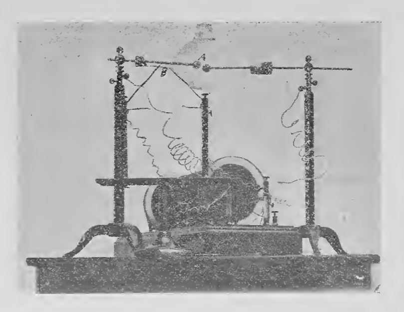


Figura 5.ª

atmósfera. Introducido el tubito radífero por la tubulura superior del globo *A* y una vez ionizada su atmósfera cesan de saltar las chispas en el micrómetro *B*. Con tan sencilla modificación ideada por el ilustrado catedrático de Física de esta Universidad D. Luis Abaurrea, hemos podido repetir y comprobar el curioso experimento de Curie.

Importantísima es la aplicación que esta acción ionizante del radio ha recibido en los Observatorios meteorológicos para el estudio de la electricidad atmosférica. Si al extremo de una

varilla metálica que se halle en comunicación con un electrómetro se fija una delgada caja de aluminio con la sal de radio, el aire que le rodea se vuelve conductor de la electricidad y la varilla toma su potencial eléctrico, el cual es medido por medio del electrómetro. Hé aquí cómo con tan sencillo mecanismo puede utilizarse el radio para tomar el potencial eléctrico de la atmósfera en substitución de las llamas y antiguo aparato de derrame imaginado por Lord-Kelwin.

Según Moureaux director del observatorio meteorológico del parque de Santo Mauro las ventajas que para el estudio de la electricidad atmosférica reportan las sales de radio sobre el aparato de Lord-Kelwin son entre otras las siguientes: poder tomar el potencial eléctrico de la atmósfera á la misma altura en todas las observaciones y á una altura mayor que la de los árboles, muros y demás obstáculos que por modificar la marcha de las curvas equipotenciales, restan gran parte de su valor á las observaciones efectuadas hasta aquí; evitar las interrupciones producidas por la supresión de la salida del agua, ya sea producida por las impurezas que naturalmente contiene ó por su congelación como suele acontecer durante los fríos del invierno; suprimir el depósito de agua lo que supone una gran economía en los gastos de instalación y entretenimiento y por último y esto es lo más importante, poder aplicar el método en las regiones polares, donde el estudio de la electricidad atmosférica ofrece excepcional interés.

A la misma acción ionizante del radio, se debe la propiedad

que tiene este cuerpo de condensar el vapor de agua, cuando se aproxima á una atmósfera sobresaturada de vapor, fenómeno idéntico al producido por los rayos ultraviolados, catódicos y X.

Finalmente el Sr. Curie ha demostrado que el radio extiende su acción ionizante á los dieléctricos líquidos por muy aisladores que sean, como el aire líquido, éter de petróleo, aceite de vaselina y amileno.

Entre los efectos químicos producidos por la radiación de las substancias fuertemente radioactivas figuran en primer término los cambios de coloración que imprimen á varias substancias. Los rayos del radio colorean al vidrio y á la porcelana. La coloración que comunican al primero generalmente parda ó violeta, es muy intensa, afecta á toda la masa y persiste aun cuando el radio deje de actuar. Respecto al color violeta se debe según Villard (1) á la oxidación del manganeso contenido en el vidrio y es análogo al producido por los rayos catódicos y en cuanto á la coloración parda parece originada por la acción del radio sobre las sales de plomo, potasio ó sodio constituyentes del vidrio.

Giesel ha comprobado que las sales alcalinas se colorean por la acción del radio; el cloruro de sodio toma color anaranjado,

---

(1) *Société française de Physique.*

el cloruro de potasio, violeta y el bicarbonato sódico y bisulfito potásico, color amatista. Para conseguir coloraciones intensas, recomienda Ackrayd [1] introducir un tubo con bromuro de radio en el seno de la substancia pulverizada que se va á colorear.

Cambios análogos se observan también en varios minerales; un cristal de cuarzo transparente expuesto varios días á la acción del radio se transforma poco á poco en cuarzo ahumado. Muchas piedras preciosas cambian así mismo de coloración; tal sucede con el topacio incoloro que toma color amarillo-anaranjado. Nada puede prejuzgarse hoy respecto á la naturaleza de estos cambios. Ningún dato experimental existe que nos haga presumir con probabilidades de acierto, si la causa del fenómeno radica en una transformación alotrópica de los componentes del mineral ó es consecuencia de la transmutación en otro cuerpo de alguno de sus elementos. Así en lo que respecta al cuarzo que de incoloro se torna en ahumado sería de importancia suma descubrir si la causa del cambio obedece á la transmutación de parte del silicio en carbono, problema sólo resoluble por el análisis espectral.

Las mismas sales de radio, varían también de coloración con el tiempo; de blancas que son recien preparadas, se van volviendo amarillas ó violadas y á veces rosadas; cambios que se atribuyen á la acción del radio, sobre trazas imponderables de sodio que siempre contienen, y del que es imposible desembarazarlas.

---

(1) *Le radium*, n.° 4. p. 3.

El papel es coloreado y destruído por la acción del radio, el fósforo amarillo es transformado en fósforo rojo y el oxígeno del aire en ozono, siempre que el radio se halle en comunicación directa con la atmósfera. El cloruro mercúrico es reducido á mercurioso en presencia del ácido oxálico, el ácido iodhídrico es descompuesto con producción de iodo libre, y el ácido nítrico incoloro en compuestos nitrosos que le colorean de amarillo. (Berthelot.)

El cloruro de radio desprende olor de agua de Javel, debido á la producción de compuestos oxigenados de cloro, y el bromuro de radio desprende bromo. Una solución de bromuro de radio desprende constantemente oxígeno é hidrógeno en relación volumétrica sensiblemente igual á la necesaria para formar el agua; resultado que demuestra la descomposición de este líquido por la sal de radio.

Las sales de radio sólidas producen también un constante desprendimiento de gas al cual han solido atribuirse los accidentes ocurridos en el manejo de estas sales. Una ampolla de vidrio delgada cerrada á la lámpara y casi llena de bromuro de radio sólido hizo explosión al cabo de dos meses, al ser ligeramente calentada. La presión del gas acumulado en la ampolla fué la causa determinante de la explosión.

Pero no siempre puede invocarse esta causa como la productora del fenómeno. La Sra. Curie encerró en una ampolla de vidrio cloruro de radio preparado hacía larga fecha; puso dicha ampolla en comunicación con un gran recipiente en el que

se había hecho el vacío y la calentó bruscamente procurando elevar rápidamente su temperatura á unos 300°. Á los pocos instantes la sal de radio hizo explosión, rompiéndose la ampolla en menudos fragmentos y proyectándose la sal radica á gran distancia. No puede invocarse aquí como causa de la explosión la presión del gas desprendido, pues teniendo éste espacio por donde difundirse no puede alcanzar la presión necesaria para producir esos efectos mecánicos.

Dedúcese de lo expuesto el riesgo que se corre al calentar una sal de radio de antigua preparación ó al conservarla mucho tiempo en un tubo cerrado.

Exceptuando la acción que el radio ejerce sobre los organis mos vivos y de la cual nos ocuparemos más adelante, hemos expuesto hasta ahora las propiedades inherentes á dicho cuerpo y á su radiación directa. Pero aun presenta el radio otra propiedad más extraordinaria que las ya conocidas y que comparte con el torio y el actinio y es la comunicación de su actividad á otras subtancias de por sí inactivas.

Como muy oportunamente dice el profesor del laboratorio de investigaciones físicas de la Sorbona Dr. Berget, el radio no es egoísta, no guarda sólo para sí la potencia misteriosa que posee; la comunica á los cuerpos próximos y este notabilísimo, cuanto extraordinario fenómeno descubierto en 1899 por los Sres. Curie

es lo que se llama radioactividad inducida y según Muñoz del Castillo, radioactivación.

Los Sres. Curie han observado, que bajo la influencia del radio, cuerpos primitivamente inactivos se vuelven temporalmente radioactivos, capaces por tanto de emitir rayos que análogamente á los del radio, determinan la ionización de los gases, impresionan las placas fotográficas, producen efectos de fluorescencia..... etc. La radioactividad así adquirida, desaparece muy lentamente á partir del momento en que el radio cesa de provocarla, y después de un tiempo más ó menos largo su desaparición es completa.

Tan singularísimo fenómeno no es debido, según han comprobado los Sres. Curie y Debierne, á las radiaciones rádicas anteriormente descritas; cuerpos expuestos á esta radiación pueden no ser activados, mientras que otros no sometidos á esta influencia pueden serlo fácilmente; el radio contenido en un tubo de vidrio cerrado, no produce al exterior del tubo la radioactividad inducida.

La radioactivación es más intensa y regular en espacios cerrados colocando los cuerpos que se van á activar al lado de un tubo ó ampolla abiertos que contiene el radio. En estas condiciones el recinto y todo lo que se halla en el recinto se vuelve radioactivo reciba ó no la radiación rádica, como si la causa de la radioactivación residiese entonces en este espacio, causa que persiste durante largo tiempo, un mes aproximadamente, después de retirado el radio, aun cuando varíe la presión en el recipiente

Esta propiedad desaparece, no obstante, con el tiempo y su desaparición es rápida si se hace el vacío en el recinto, ó se desalojan los gases desprendidos por los cuerpos radioactivos con una corriente de aire.

Recogidos estos gases, los Sres. Curie y Debierne han comprobado que en ellos reside la causa de la radioactividad inducida, hecho que obliga á suponer que el radio produce una forma especial de energía capaz de difundirse á su alrededor á la manera de un gas y crear la radioactivación en los cuerpos sometidos á su influencia. Rutherford admite que esta energía caracteriza á un gas material radioactivo inestable desprendido continuamente por el radio, á cuyo hipotético gas le ha dado el nombre de emanación. No queriendo Curie precisar tanto esta hipótesis, adopta la palabra emanación para designar la forma bajo la cual la nueva energía se halla extendida en el gas que rodea al radio.

Todos los resultados experimentales hasta aquí obtenidos, operando con el radio y con los otros cuerpos radioactivos, permiten trazar la siguiente imagen representativa del fenómeno. El radio produce de un modo continuo centros especiales de energía (emanación); estos centros se extienden alrededor de dicho cuerpo como lo haría un gas, y la radioactividad que determinan sobre los cuerpos que se ponen á su alcance y caracterizada por la emisión de rayos Becquerel, es producida á expensas de la energía de estos centros activantes. La energía activante de la emanación decrece lentamente transformándose en energía radiante (rayos

de Becquerel) emitida por los cuerpos activados la cual á su vez se disipa produciendo los efectos precedentemente descritos (ionización, impresiones fotográficas, efectos fluorescentes, etc.) Prodúcese así á partir del radio, una serie de transformaciones de energía, desde la energía de naturaleza desconocida que produce la emanación, hasta la energía luminosa ó eléctrica resultante de la radiación becquereliana.

De lo expuesto se deduce que los cuerpos activados emiten rayos idénticos á los del radio resultantes de la transformación de de la emanación.

Un cuerpo sólido activado por el radio y sustraído luego á su acción, se desactiva al aire libre siguiendo una ley de estructura exponencial, la misma para todos los cuerpos, representada por la fórmula

$$I = I_o - (a\, e)^{-\frac{t}{\theta_1}} - (a - I)\, e^{-\frac{t}{\theta_2}}$$

Siendo I_o la intensidad inicial de la radiación en el momento de retirar el cuerpo del recinto activante, I la intensidad después del tiempo t; a un coeficiente numérico igual á 4,20, θ_1 y θ_2 dos contantes de tiempo, $\theta_1 = 2420$ segundos y $\theta_2 = 1860$ segundos.

Transcurridas dos ó tres horas esta ley se reduce sensiblemente á una exponencial simple, no ejerciendo ya influencia alguna la segunda exponencial sobre el valor de I. El decrecimiento de la actividad desciende á la mitad de su valor en 28 minutos, y esta ley límite puede ser considerada como característica de los cuerpos activados por el radio.

La desactivación al aire libre de los cuerpos sólidos activados por el actinio obedece también á una ley exponencial análoga á la precedente, sin otra diferencia que la desactivación es algo más lenta (1), observándose aún mayor lentitud en la de los cuerpos sólidos activados por el torio que sólo desciende á la mitad de su valor inicial en el transcurso de once horas (2).

Cuando los tiempos de activación son muy cortos, se observa la anomalía de que la radiación, después que la emanación ha cesado de actuar, lejos de decrecer aumenta hasta llegar á un máximum, para decrecer después, encontrándose al cabo de unas dos horas que la ley del decrecimiento es de la mitad en 28 minutos.

Estos diferentes aspectos de la desactivación pueden explicarse según Curie, suponiendo que la energía de la emanación no se transforma directamente en rayos Becquerel, sino que al actuar sobre el cuerpo activado, determina en éste una forma intermediaria de energía capaz de transformarse á su vez en energía radiante, (rayos de Becquerel) y como el aumento y decrecimiento de cada una de estas formas de energía se produce obedeciendo á leyes exponenciales simples de coeficientes determinados, cada forma de energía puede desde luego caracterizar á cada una de las substancias radioactivas en particular.

La activación de los cuerpos sólidos se efectúa también progresivamente, obedeciendo este aumento progresivo de la radioactivación á la ley ya conocida del decrecimiento.

(1) Debierne, *Comptes rendus*, 16 Fevrier, 1903.

(2) Rutherford, *Phil. Mag.*, Fevrier, 1900.

Todos los cuerpos conocidos pueden ser radioactivados, obedeciendo su activación y desactivación á las mismas leyes, según acabamos de decir, pero ciertos cuerpos como los líquidos, la parafina, el caucho, celuloide, etc., parecen disolver la emanación, circunstancia que retrasa considerablemente la desactivación.

Al ser activados los cuerpos fosforescentes ó fluorescentes se vuelven luminosos cual sucede cuando son sometidos á la radiación rádica, persistiendo su luminosidad mientras el cuerpo conserva la radioactividad inducida. A esto se debe el que un recipiente de vidrio se vuelva luminoso cuando contiene emanación y que el diamante, el sulfuro de zinc y el platinocianuro de bario, etc , presenten el mismo carácter por idéntica causa.

Según Curie y Debierne la activación sólo se produce en la superficie de los cuerpos, así es que si se elimina esta capa superficial por medios mecánicos ó químicos desaparece la radioactividad en aquel, acumulándose en la parte separada, la cual se desactiva conforme á la ley ya conocida.

Caracterízase la emanación por la propiedad de producir la radioactivación y por ionizar fuertemente al gas que la contiene. Esta ionización mide generalmente la energía de la emanación, y su origen puede ser debido, bien á un efecto directo de la emanación ó á la radioactividad inducida que la emanación produce sobre el gas.

La energía de la emanación decrece sin cesar, estando sometido este decrecimiento á la siguiente ley formulada por los señores Curie y Danne $I = I_o e^{-\frac{t}{\theta}}$

En cuya fórmula I_o representa la intensidad de la radiación inicial, I la intensidad de la radiación después del tiempo t y θ una constante de tiempo $\theta = 4970 \times 10^5$ segundos.

La energía de la emanación desciende á la mitad de su valor en cuatro días. La ley que rige á este descenso caracteriza desde luego á la emanación del radio; la energía de la emanación del torio se destruye más rápidamente descendiendo á la mitad en un minuto y diez segundos aproximadamente y aun con más rapidez se destruye la del actinio que baja á la mitad de su valor en algunos segundos.

La lentitud con que decrece la energía de la emanación rádica es causa de que pueda producirse la radioactivación en recinto cerrado un mes después de haber sido separado el radio. Esta radioactivación se propaga de capa en capa en los gases de un recinto cerrado, aun á través de tubos capilares de un metro de longitud y de fisuras imperceptibles.

Es un hecho constantemente observado que todas las sales de radio, desprenden emanación en cantidad proporcional al radio que contengan, observándose además la particularidad de que la emanación desprendida es mayor cuando la sal está disuelta en el agua, que cuando se halla en estado sólido, precisamente lo inverso de lo que sucede repecto a la radiación becqueréliana emitida directamente por la sal que es mayor cuando la sal es sólida que al estado de disolución.

Estos hechos unidos al ya conocido de que una sal de radio antiguamente preparada emite mayor cantidad de rayos que al

ser recientemente cristalizada, conducen á la conclusión de que el radio, sea cualquiera su estado sólido ó disuelto, produce siempre la misma cantidad de emanación, la cual es susceptible de transformarse más ó menos parcialmente en rayos Becquerel, según las circunstancias.

Cuando el compuesto rádico es sólido, gran parte de la emanación no puede desprenderse al exterior y es transformada en el acto, primero en radioactividad inducida, después en rayos Becquerel. La radiación así emitida por la sal de radio sólida alcanzará por tanto un valor elevado y su intensidad será constante cuando la pérdida de energía por radiación y por desprendimiento de emanación, sea igual á la producida por el radio. Llegado este caso se establece un equilibrio entre la doble pérdida de energía ya indicada, y la producida por los átomos de radio.

Mas si la sal rádica está en disolución en vaso abierto, como la emanación puede difundirse á través del líquido y escaparse al exterior, no se produce la acumulación antedicha y por consecuencia la proporción transformada en rayos Becquerel es muy pequeña. Si la sal disuelta se cristaliza emite en primer término una radiación bastante débil que aumenta luego progresivamente por la transformación de la emanación, que al no poderse desprender á través de las capas sólidas de la sal se transforma en radiación becquereliana. Compréndese así facilmente que la intensidad de la radiación aumente con el transcurso del tiempo, y que al cabo de un mes alcance un valor aproximado cinco veces mayor que el de la radiación emitida por la sal recientemente

cristalizada A partir de este tiempo su intensidad permanece constante como consecuencia del equilibrio anteriormente consignado.

En tesis general puede establecerse, que toda circunstancia capaz de favorecer la difusión de la emanación al exterior (gran superficie de contacto con la atmósfera; paso de corrientes de aire á través de la disolución.... etc) disminuyen la producción de rayos Becquerel, hechos que concuerdan perfectamente con la hipótesis establecida de que la génesis de estos rayos es producida por la transformación de la emanación.

Según los trabajos experimentales de Rutherford, la transformación espontánea de la emanación del radio da lugar á la siguiente sucesión de productos consignada en la tabla adjunta con expresión del tiempo necesario para las transformaciones:

	Tiempo necesario para que la mitad de la masa de radio y de cada uno de sus productos sucesivamente se transformen.
Radio : da rayos α y	1.000 años.
Emanación: da rayos α y	4 días.
Radio *A:* da rayos α y	3 minutos.
Radio *B:* da	21 minutos.
Radio *C:* da rayos α β γ y	28 minutos.
Radio *D:* da rayos β y	40 años.
Radio *E:* da rayos α	

Un nuevo cambio que hiciese desaparecer la mitad del radio *E* exigiría un año. El conjunto de los cuerpos llamados radio

A, *B* y *C*, es lo que se había llamado radio X ó emanación X. Todos estos productos aun cuando diferentes por sus propiedades presentan el común carácter de destruirse con rapidez dando lugar á otros nuevos. Los más estables son el radio *D* y el radio *E* resultantes de la transformación del radio *C* siendo sus caracteres diferenciales los siguientes: el radio *D* sólo emite rayos β, es soluble en el ácido sulfúrico, no se volatiliza á 1.000° y no es precipitado por el bismuto; el radio *E* por el contrario sólo emite rayos α, es soluble en el ácido sulfúrico, se volatiliza á 1.000° y es precipitado por el bismuto. Aun cuando sin pruebas decisivas admite Rutherford que el radio *E* debe ser idéntico al polonio de Curie y que el radio *D* existe en la pechblenda de donde podría extraérsele directamente.

Anteriormente hemos visto que la activación por la emanación se produce de un modo progresivo, alcanzando un valor límite después de algunas horas de exposición, pero este límite independiente por completo de la naturaleza del cuerpo que se activa, depende en cambio de otras varias circunstancias dignas de mencionarse.

Los cuerpos electrizados negativamente se activan más que los electrizados positivamente, hecho descubierto por Rutherford con la emanación del torio y enteramente análogo al producido con la emanación del radio y la del actinio.

Tampoco es la misma la magnitud de la activación en las distintas partes de un mismo recinto. En las partes anchas aquella es más intensa que en las estrechas, y en general puede

decirse que la magnitud de la activación inducida límite de una superficie, es sensiblemente proporcional al volumen de emanación existente delante de dicha superficie: dedúcese de aquí, que la activación no es debida á un fenómeno de contacto directo entre la emanación y el cuerpo sólido, pues si así fuera la intensidad de la activación en un punto sólo dependeria de la concentración de la emanación en este punto, y como esta concentración es sensiblemente la misma en todas las partes de un recinto cerrado, dicho se está, que la activación debería ser también la misma en todos los puntos de este recinto; deducción opuesta á lo que la experiencia acredita.

El hecho de que la radioactividad inducida sobre una superficie, sea proporcional al volumen de emanación que existe delante de ella, demuestra indudablemente que cada una de las partículas de la emanación, actúan á la vez sobre dicha superficie realizándose el fenómeno como si cada centro de emanación emitiese una radiación especial capaz de producir la radioactividad inducida, cuya intensidad necesariamente ha de ser proporcional á la radiación total recibida por la superficie. Esta nueva radiación, desde luego distinta de la precedentemente estudiada, ha sido llamada por Debierne *radiación activante.*

Respecto á la influencia que la electrización del cuerpo ejerce sobre su activación puede explicarse admitiendo que, los rayos activantes de la sal rádica se hallan electrizados positivamente.

Si esta interpretación es exacta, cada emanación debe de emitir una radiación distinta, puesto que la naturaleza de la radioactividad sólo depende de la naturaleza de la emanación; con todo, esta afirmación no puede establecerse hasta tanto que nuevas y más profundas investigaciones precisen con más exactitud el mecanismo de la activación.

Elster y Geitel han comprobado que en el aire atmosférico, existe siempre, aun cuando en muy debil proporción, una emanación análoga á la emitida por los cuerpos radioactivos. Hilos metálicos tendidos en el aire y mantenidos á un potencial negativo se activan bajo la influencia de esta emanación.

El aire de las cavernas y de las grutas es más rico en emanación que el de las superficies, y para obtener un aire cargado de emanación basta introducir un tubo en el suelo á un metro de profundidad y extraer el aire que contenga, lo cual demuestra que el aire que se halla debajo de la superficie terrestre ocupando los canales capilares del suelo y las fisuras de las rocas se encuentra cargado de emanación. Esta emanación se extiende por difusión en el aire atmosférico á través de los poros abiertos de la superficie, habiéndose comprobado que una disminución de presión en la atmósfera aumenta en el aire la cantidad de emanación, consecuencia de la aspiración del aire contenido en el suelo. Allí donde esa difusión no es posible, como acontece en el mar, la atmósfera es mucho menos rica en emanación.

Ciertas aguas minerales, sobre todo aquellas que emergen de

manantiales muy profundos como las termales, son muy ricas en emanación y otro tanto ocurre con el petróleo bruto antes de refinarlo; en cambio el agua del mar y de los ríos está casi exenta de ella.

Todos estos hechos indican claramente que en el suelo existe una substancia radioactiva productora de la emanación, suposición plenamente confirmada por la siguiente observación: diferentes muestras de tierra tomadas sobre la superficie del suelo, ó á algunos centímetros de profundidad, presentan propiedades radioactivas.

Problema harto difícil es determinar la naturaleza de ese cuerpo radioactivo diseminado en tan alto grado en la corteza terrestre, dada la exigüidad de su proporción, circunstancia que hace inaplicable el análisis químico. Sólo el método investigatorio, que pudiéramos llamar radioactivante, es el que puede utilizarse en este caso, consistente en activar una substancia por la tierra y estudiar la ley de su activación. Elster y Geitel que han efectuado estas medidas por el método eléctrico, han observado que la desactivación de los cuerpos activados por la tierra, concuerda sensiblemente con la ley de desactivación de los cuerpos activados por las sales de radio. Es por tanto, muy lógico suponer que la radioactividad del aire atmosférico se debe á trazas infinitesimales de radio diseminadas en la corteza terrestre.

En un gran número de casos la emanación se comporta como un gas.

Cuando se ponen en comunicación dos recipientes de vidrio, con emanación uno de ellos y el otro no, ésta se reparte en los dos recipientes proporcionalmente á sus volúmenes como si fuera un gas; y si los recipientes estuviesen á distinta temperatura el reparto se efectúa conforme á las leyes de Boyle y de Gay-Lussac. (1)

Es cierto que la emanación se difunde como un gas y su coeficiente de difusión determinado por Curie y Danne coincide sensiblemente con el del anhídrido carbónico. (2) Pero con ser estos hechos tan significativos, no constituyen sin embargo una prueba palmaria de la naturaleza material de la emanación pues los mismos resultados pueden interpretarse suponiendo que las moléculas gaseosas se agrupan alrededor de un centro de emanación, de modo análogo á las moléculas ordinarias alrededor de un centro electrizado, que constituye el ion gaseoso. En todo caso las propiedades tan curiosas de la emanación, indican que si ella es de naturaleza material, la materia que la constituye no se halla en su estado ordinario.

La emanación pierde las propiedades de los gases cuando la temperatura desciende á un grado suficiente. Según los experimentos de Rutherford y Soddy (3) si se sumerge en el aire

---

(1) P. Curie y J. Danne. *Comptes rendus*, 2 Juin 1903.

(2) P. Curie y J. Danne. *Comptes rendus*, 2 Juin 1903.

(3) Rutherford y Soddy, *Phil. Mag.*, Mai, 1903.

líquido un vaso que contiene emanación, ésta se condensa sobre las paredes del vaso, como lo haría un gas liquidable á esta temperatura.

Una corriente de aire cargado de emanación, pierde sus propiedades radioactivas al atravesar un serpentín sumergido en el aire líquido; la emanación queda condensada en el serpentín y ella readquiere el estado gaseoso tan pronto se eleva la temperatura.

Los físicos citados consideran este fenómeno como una liquefacción de la emanación. No obstante, las circunstancias que acompañan á esta liquefacción difieren bastante de las que concurren en la liquefacción de los gases. Rutherford y Soddy han comprobado que la emanación se condensa bruscamente á una temperatura fija é invariable (-151°) y una vez condensada conserva su estado líquido—según Ramsay y Soddy—aun cuando se haga pasar sobre ella una rápida corriente de aire ó se haga el vacío, fenómeno únicamente explicable admitiendo que la tensión de su vapor es extremadamente débil, suposición que está en abierta pugna con el gran descenso de temperatura necesario para conseguir su condensación.

Muy de otro modo suceden las cosas cuando los gases se liquidan.

Un gas liquidado posee por lo general una fuerte tensión de vapor, á cuya causa se debe el que la total liquefacción lejos de realizarse bruscamente, se efectúe de modo progresivo á

medida que la temperatura desciende, descenso de todo punto necesario para disminuir la tensión de su vapor, pero una vez liquidado el gas, en virtud de esta misma tensión se gaseifica rápidamente ya por la acción de una corriente de aire y con mayor actividad aún, si se hace el vacío. Tienen estas diferencias en la práctica grandísima importancia pues permiten separar de la emanación los gases que geralmente la acompañan.

Para que la emanación del radio fuese comparable á un gas liquidable, sería necesario que su temperatura de condensación fuese función de la cantidad de emanación contenida en un volumen dado de aire.

Otro de los caracteres distintivos de la emanación es su gran poder difusivo no comparable al de ningún otro gas. Conductos ó fisuras las más tenues son fácilmente atravesadas por ella en condiciones tales, que los gases materiales más difusibles no pueden circular sino con lentitud extrema.

Por último, la emanación del radio se distingue de un gas material ordinario por el hecho de destruirse espontáneamente cuando se le encierra en un tubo de vidrio. En estas condiciones desaparece por lo menos su propiedad radioactiva que es precisamente la única que la caracteriza pues hasta la fecha no se conoce con absoluta certeza su espectro, ni tampoco se ha observado que ejerza presión alguna como los demás gases.

Recientemente Ramsay y Soddy han observado nuevas rayas

en el espectro de los gases extraídos del radio, que muy bien pudieran pertenecer á su emanación, hecho que parece confirmado por los novísimos experimentos de Ramsay y Collie (1) cuyos experimentadores han obtenido los valores siguientes para las longitudes de ondas correspondientes á las rayas expectrales de la emanación rádica:

Longitudes de onda	OBSERVACIONES
6350 . . .	Apenas visible.
6307 . . .	Débil. Desaparece rápidamente.
5975 . . .	————
5955 . . .	————
5890 . . .	Débil.
5854 . . .	————
5805 . . .	Fuerte. Persistente.
5725 . . .	Bastante fuerte. Persistente.
5595 . . .	Muy fuerte. Persistente.
5580 . . .	Débil.
5430 . . .	————
5393 . . .	————

(1) *Journal de Physique theorique et appliquée*. p. 288.

Longitudes de onda	OBSERVACIONES
5101 . . .	Muy fuerte. Persistente.
4985 . . .	———————
4966 . . .	Fuerte. Desaparece después de algún tiempo.
4690 . . .	Débil. Desaparece rápidamente.
4650 . . .	Débil. } Estas rayas sólo se han registrado en una observación.
4630 . . .	

Los investigadores citados deducen que la emanación del radio es un elemento químico y proponen que se le llamen exradio.

Si se supone que la emanación resulta de la disgregación de una fracción determinada de radio por segundo, esta fracción puede calcularse conociendo el volumen de la emanación y la duración de la acumulación La emanación se acumula en efecto hasta que la velocidad de producción sea equilibrada por la velocidad de su destrucción, en cuyo caso la cantidad de emanación queda constante. Los experimentos realizados por Ramsay y Soddy (1) comprueban que un gramo de radio produce por segundo $2{,}85 \times 10^{-6}$ milímetros cúbicos de emanación.

La proporción de radio transformada en emanación por segundo es $2{,}85 \times 10^{-11}$. Luego la vida media del átomo de radio es $\frac{1}{2{,}85 \times 10^{-11}}$ segundos $= 1150$ años.

(1) *Journal de Physique theorique et appliquée*, p. 285.

Pero lo más sorprendente y sensacional de las investigaciones de Ramsay y Soddy es el descubrimiento del helio entre los gases desprendidos por el radio y la formación al parecer espontánea de aquel gas, al mismo tiempo que se destruye la emanación.

En anteriores páginas se ha indicado que las soluciones de radio desprenden oxígeno é hidrógeno. Ramsay ha absorbido estos dos gases por medio del cobre y el óxido cúprico al rojo y el vapor de agua formado por la intervención del anhidrido fosfórico. La observación espectroscópica del residuo gaseoso restante acusaba las rayas del helio á la par que otras nuevas de origen desconocido.

Delicadas y más profundas investigaciones permitieron á los dos sabios citados precisar el momento de la aparición del helio. Para conseguir tan interesante resultado, condensaron la emanación por medio del aire líquido, desalojaron los gases con ella mezclados por una corriente de oxígeno puro, y examinaron al espectroscopio la emanación ya gaseificada, observando que su espectro no contenía las rayas del helio sino otras desconocidas y de las cuales ya hemos hecho mérito, que los autores citados consideraron como propias de la emanación. Transcurrido cierto tiempo (unos dos días) las rayas espectrales del helio empezaron á destacarse con intensidad creciente al mismo tiempo que iban extinguiéndose las rayas de la emanación.

Si estos experimentos, comprobados por Deslandres, han sido exacta y minuciosamente observados, es indudable que la

producción del helio resulta de la destrucción de la emanación del radio, confirmándose así por vía experimental la lógica y racional hipótesis de la unidad de la materia, base de la doctrina de los alquimistas acerca de la transmutación de los elementos químicos, y en este caso puede ser considerada la emanación como un gas material inestable en vías de transformación, siendo el helio uno de los productos resultantes de esta disgregación molecular.

Ramsay, en vista de los resultados obtenidos, trata de determinar actualmente la cantidad de helio producida por el radio, como asimismo el origen y mecanismo de este cambio y el tiempo que ella exige. Respecto á este último punto ha calculado que la transformación del radio en helio exige por lo menos dos millones de años.

Ante la perspectiva de este descubrimiento y considerando además que los diferentes grupos de elementos de la clasificación Mendelefiana gozan de propiedades similares, hecho que conduce á la suposición de que los elementos químicos aceptados hasta aquí como tales, no son formas finales de la materia, cabe muy bien suponer que los citados elementos puedan reducirse á un pequeño grupo de tipos más simples. Con tal motivo dice Ramsay que las leyes del universo tienden á una vasta generalización, de donde resultaría que nuestros actuales cuerpos simples son en realidad compuestos de dos ó tres materias fundamentales.

Muy lógico nos parece este razonamiento, pero con la

condición de que se subordine á la hipótesis de la unidad de la materia, de la cual somos convencidos partidarios, es decir, siempre que esas dos ó tres materias fundamentales constituyentes de los cuerpos simples, no sean en el fondo sino formas finales de una misma y única materia. Siendo así, estamos de completo acuerdo con las ideas sustentadas por el sabio físico inglés.

No deja de ser curioso (y como caso anómalo tomamos nota de ello) que la emanación del radio capaz de destruirse espontáneamente, no parezca en cambio alterarse bajo la influencia de acciones físicas y químicas. Una fuerte variación de temperatura, —780° á +500°, no produce ningún cambio en la ley del decrecimiento de un cuerpo activante, observándose la misma constancia después de atravesar soluciones alcalinas ó ácidas, y aun á través de una columna de óxido cúprico al rojo. Análoga estabilidad presenta la emanación del torio, por lo que Rutherford y Soddy asimilan estas emanaciones á los gases de la familia del argo (1).

Muchas de las acciones químicas producidas por el radio son debidas á la emanación; tales son la ionización del aire que rodea á las sales de radio, los compuestos clorados y bromados que estas sales desprenden, como asimismo el oxígeno é hidrógeno que se escapa de sus disoluciones.

Ashworth y Giesel han comprobado que la emanación del

---

(1) Phil. Mag. 1902, pág. 580.—1903, pág. 457.

radio es absorbida por el cuerpo humano, encontrándose en la orina y en el aire espirado.

El peso molecular de la emanación del radio ha sido determinado primeramente por Rutherford y Brooks y luego por Curie y Danne (1) partiendo de la ley de Graham: *los coeficientes de difusión de los gases (en un mismo gas) son inversamente proporcionales á la raíz cuadrada de sus pesos moleculares.*

En los experimentos de Rutherford y Brooks la difusión se efectuaba libremente de un espacio á otro. En los de Curie y Danne aquélla tenía lugar por tubos capilares. Los primeros investigadores han encontrado que el peso molecular de la emanación debía estar comprendido entre 40 y 100, y el número encontrado por los segundos próximo á 40 es demasiado pequeño por no haber operado á temperatura constante.

Mucho más precisas han sido las determinaciones realizadas por Valter Makower para determinar el coeficiente de difusión, disponiendo los experimentos de modo que la emanación se difunda á través de tapones porosos.

El coeficiente de difusión λ se deduce de la ecuación $dy = \frac{\lambda}{v} y dt$, en la que y representa la concentración del gas que se difunde y v su volumen.

Despejando λ se tiene $\lambda = \frac{v}{t} \log\left(\frac{y_0}{y}\right)$ y é y_0 se miden volumétricamente en el caso de los gases ordinarios, electrométricamente en el caso de la emanación.

---

(1) Comptes rendus. 1903.

Los números obtenidos operando con tres tapones diferentes son bastante concordantes y han comprobado al mismo tiempo que, en oposición á lo prescrito por la ley de Graham producto $\sqrt{\lambda M}$ no es absolutamente constante cuando se pasa de un gas á otro. Este producto crece linealmente con λ. Tres series de experimentos han conducido respectivamente á los números 85,5, 96 y 97 que clasifican á la emanación como gas monoatómico entre el molibdeno (96) y el rutenio (102).

Según las investigaciones practicadas por Curie y Laborde, el 75 % del calor desprendido por el radio se debe á la destrucción de la emanación. Teniendo presente este dato y la magnitud molecular de la emanación, se deduce que el calor desprendido y por consiguiente, la energía mecánica emitida por un kilogramo de emanación, asciende á la fantástica cifra de un millón de caballos de vapor por día.

Puede también producirse la radioactivación disolviendo los cuerpos que se tratan de activar en soluciones fuertemente radioactivas eliminándolos luego por un procedimiento químico. Así ha conseguido Giesel (1) obtener bismuto radioactivo disolviendo una sal bismútica en una solución rádica muy activa, de donde deduce que el polonio inseparable hasta hoy del bismuto, no es otra cosa sino este metal activado por el actinio contenido en la pechblenda. El bismuto así activado pierde

---

(1. Societé de Physique de Berlín janier 1900.

su actividad con el tiempo, pero con tal lentitud que algunas muestras han conservado una actividad de 150 después de tres años. La Sra. Curie después de haber comprobado mediante minuciosos experimentos los resultados obtenidos por Giesel ha extendido la esfera de sus investigaciones á otros metales que como el plomo y la plata han sido activados manteniéndolos en disolución con el radio, y á idénticas conclusiones ha llegado Debierne (2) que ha obtenido sales de bario muy activas disolviéndolas en soluciones de sales de actinio y separando después este metal. El mismo físico ha demostrado que el bario así activado posee en parte, pero en parte solamente, las propiedades del radio; conserva su radioactividad en el transcurso de las transformaciones químicas y se fracciona del mismo modo que el radio, siendo las partes más activas las menos solubles en el agua acidulada con ácido sulfúrico.

El cloruro de bario activado y seco es luminoso como el cloruro de bario radífero, produce la fluorescencia del sulfuro de zinc y su radiación es parcialmente desviable por los campos magnético y eléctrico.

Todas estas propiedades lo asemejan al radio, pero se diferencia en que el bario activado no posee el espectro del radio y su actividad, aun cuando lentamente decrece con el tiempo.

---

(2) Debierne, Comptes vendus, t. CXXXI, p. 333.

El bario activado por el actinio es pues, un término intermediario entre el bario inactivo y el radio.

No hemos de terminar esta interesantísima parte de nuestro trabajo sin exponer los dos siguientes casos de producción artificial de la radioactividad descubiertos por Ciro Chistoni, entendiéndose el adjetivo artificial en el sentido de activarse cuerpos de por sí inactivos sin la intervención del radio ni de otras sustancias radioactivas. Ciro Chistoni (1) estudiando fragmentos metálicos y calizos que habían sufrido la acción de una violenta descarga eléctrica atmosférica, ha observado que las porciones fundidas por el rayo actúan sobre el electroscopio. Separadas con la sierra aparece claramente que ellas, y no el resto de las masas, son radioactivas.

Tales trozos, ni ofrecen indicio alguno de electrización, ni poseen conductibilidad eléctrica notable; y su actividad ha podido ser comprobada al cabo de veinte días. El mismo experimentador ha sometido durante muchas horas pedazos de metal á la descarga del carrete de inducción, logrando así que adquieran una muy débil radioactividad, tan pasajera además que á la media hora no podía ser comprobada.

Excepcional interés ofrece el estudio de las propiedades biológicas del radio; á él están consagrados multitud de médi-

(1) Muñoz del Castillo; Revista de la Real Academia de Ciencias exactas, físicas y naturales, t. 2.º, núm. 1, p. 53.

cos ilustres, y, á juzgar por los resultados hasta ahora obtenidos, fundadamente se espera el gran porvenir que en los vastos dominios de la Medicina le está reservado á tan maravilloso cuerpo.

Muy notables y variados son los efectos que la radiación del radio produce sobre la materia viva, pero en medio de esta diversidad puede establecerse en tesis general que, cual ocurre con los demás agentes físicos, la energía emitida por el radio, aumenta la intensidad vital de la materia viva, cuando actúa á débiles dosis, y la disminuye y hasta determina su muerte á dosis más elevadas.

La acción del radio sobre los tejidos vegetales es esterilizadora y destructora. Giesel ha observado que las hojas de los vegetales sometidas á su acción amarillean y se secan, y Matout después de numerosos experimentos ha llegado á la conclusión, de que la acción prolongada de los rayos rádicos destruye el poder germinativo de las semillas.

El radio mata un gran número de organismos, encontrándose en este caso los ámibos, infusorios, hidras, pequeños crustáceos, insectos, renacuajos y los pequeños y jóvenes mamíferos. A Willcok se deben observaciones precisas sobre la muerte de algunos organismos inferiores como el (actinos pliærrium) las dafnias y las hormigas (1).

---

(1) Willcok Nature 19 Noviembre 1903.

Askinas y W. Caspari han estudiado su efecto sobre los microbios y muy especialmente sobre el *micrococus prodigiosus*, habiendo obtenido como resultado de sus trabajos, que en general, todas las especies bacterianas son detenidas en su desarrollo, y algunas como el carbunco, mueren cuando la experiencia se ejecute en ciertas condiciones. Esta acción bactericida varía notablemente con la distancia á que se halle el radio del cultivo y cesa por completo si éste excede de seis centímetros ó se interpone entre la sal rádica y el cultivo una delgada lámina de aluminio; de donde se deduce que los rayos bactericidas son los α y los más desviables por los campos magnéticos de los β, es decir, los más absorbentes de la radiación rádica; resultados que han sido brillantemente confirmados por Danysz, profesor del Instituto Pasteur (2) Pfeiffer y Friedberger han demostrado que los rayos del radio son capaces de matar toda clase de bacterias, lo mismo las saprofitas que las patógenas, y Scholtz ha conseguido la muerte del bacilo del tifus y de los estafilococos en el transcurso de tres y seis horas, sometiendo sus cultivos á la acción del radio á distancia de dos y cuatro milímetros respectivamente.

Las radiaciones rádicas poseen pues, la misma acción bactericida que los rayos azules, violetas y ultravioletas descubierta por Doroness y Blunt, origen y fundamento del

---

(2) Danysr, Comptes rendus, 16 fevrier 1903.

tratamiento fototerápico de los doctores Filsen de Copenhague y Lortel de Lyon.

La acción producida por los rayos rádicos sobre la piel, ha sido observada por Walkhoff, Giesel, Becquerel, Curie y otros experimentadores. Becquerel se colocó en la axila y sobre una camisa de franela un tubo de vidrio que contenía dos decigramos de una sal rádica 800.000 veces más activa que el uranio, y lo conservó así durante seis horas. Al principio no observó fenómeno alguno; pero al cabo de quince días, se le formó un eritema, que después se ulceró, y no cicatrizó sino muy difícilmente al cabo de un mes.

Curié repitió este experimento, colocándose sobre el brazo derecho, durante diez horas un saquito de gutapercha encerrando radio de actividad 5.000; transcurrido algún tiempo, se le produjo un eritema que se ulceró á los veinte días, no empezó á cicatrizar hasta los cuarenta y dos y exigió cuatro meses para su completa curación.

La Sra. Curie, por haber tenido en la mano por espacio de media hora una cajita que contenía un tubo con radio muy activo, se le produjo al cabo de quince días un eritema seguido de una dermatitis.

Acciones análogas, y mucho más intensas fueron observadas por Giesel, aplicándose sobre el brazo durante dos horas una ampolla de celuloide, que contenía tres decigramos de bromuro de radio puro.

Los dedos de los que han preparado ó manejado con

frecuencia las sales de radio, presentan gran tendencia á la descamación, acompañada de cierto dolor que tarda dos meses en desaparecer.

El radio, pues, al actuar sobre la piel, produce los efectos de una quemadura más ó menos intensa; á esta clase de quemaduras lo mismo que á las originadas por los rayos X se les ha dado el nombre de *radiodermitis*, las cuales de modo análogo á las producidas por el fuego, se les clasifica por grados según su intensidad.

Hé aquí los caracteres que el Dr. Pissareff, autor de esta clasificación, señala á cada una de estas radiodermitis.

1.er Grado: Está caracterizado, por la no modificación de la superficie cutánea, al principio, durante un período que puede llamarse de incubación. Desde los quince días á las tres semanas, comienzan los primeros síntomas. El sistema piloso se hace frágil y cae. Esta alopecia puede ser completa, dejando la piel lisa y á veces ligeramente pigmentada, durante cierto tiempo. Transcurridos dos meses, los pelos crecen y la región recobra su primitivo aspecto.

2.º Grado: Está caracterizado, al principio, por un eritema ligeramente rosáseo que después se obscurece, hay infiltración de tejidos y prurito. En algunos casos, la lesión se detiene en este período; hay descamación; la epidermis vuelve á reproducirse, pero es más susceptible, brillante, resquebrajado á veces, de modo permanente.

3.º Grado: Caracterízase por un eritema intenso, obscu-

ro, acompañado de un prurito vivo. La piel engruesa, fórmanse flictenas que dejan rezumar un líquido turbio primero, que se hace purulento después. Cuando el tejido se rasga queda en el fondo una úlcera, siendo el prurito cada vez más intenso. Este estado puede prolongarse una ó dos semanas, sobreviniendo al fin la cicatrización, pero la depilación puede ser permanente, y siempre queda una pigmentación con señales indelebles.

4.º Grado: Se halla caracterizado, por la destrucción total de la piel, á veces con agudísimos dolores de gran irradiación al principio. La superficie se presenta ulcerada con manchas amarillas, grises, que se estienden; fórmase después una escara obscura, poco sensible, separada del medio sano, que deja rezumar un líquido, primero, espeso y seroso, y luego purulento.

Esta escara se desprende con gran dificultad, y la úlcera que es muy profunda, se repara poco á poco, y cura con una lentitud desesperante. La cicatriz es de bordes irregulares y gruesos, pigmentada á veces, profunda siempre y semeja la cicatriz de una quemadura grave.

Todas estas radiodermitis pueden producirse, bien por una sola aplicación, más ó menos larga, según la actividad del radio ó por aplicaciones cortas de algunos minutos, y repetidas varios días, empleando una sal de radio muy activa.

Como hemos tenido ocasión de observar, la acción del radio sobre la piel nunca es inmediata; el proceso inflama-

torio no suele aparecer sino al cabo de 8, 15, ó 20 días después de la aplicación rádica, y esta larga incubación, es precisamente uno de los puntos más obscuros, y más interesantes de la acción misteriosa de los rayos Becquerel sobre los tejidos vivos.

Otra de las particularidades dignas de anotarse, es la distinta sensibilidad que las diversas regiones del cuerpo presentan á la radiación rádica. La cara y los brazos son más fácilmente atacados que las piernas y la espalda. La piel de la mujer y de los niños es más sensible que la del hombre, y en general, la piel enferma es mucho más atacada que la piel sana. La idiosincrasia orgánica goza en cambio un débil papel en estas acciones.

En cuanto al tiempo invertido en la aplicación rádica, y á la actividad del agente radioactivo, fácilmente se comprende la decisiva influencia que han de ejercer en los efectos producidos.

Danysz ha estudiado la acción del radio sobre la piel de algunos animales, y ha observado que un compuesto bari-rádico de actividad 500.000, aplicado 24 horas sobre la piel de los conejos y de los cobayas, la agujerea por completo, como consecuencia de una destrucción completa del epidermis y dermis.

El mismo experimentador ha comprobado que la piel de los cobayas es mucho más sensible que la de los conejos. Una aplicación rádica capaz de producir en el cobaya una úlcera

bastante profunda, no produce otro efecto en el conejo que el excitar el crecimiento del pelo.

Esta acción excitante, que en general tienen los compuestos radíferos muy poco activos sobre el bulbo capilar, puede ser utilizada para curar la alopecia.

Los intestinos parecen ser muy poco sensibles á la acción del radio. Ampollas con sulfato de bario radífero, mantenidas de uno á cuatro meses en la cavidad peritoneal de algunos cobayas no han producido ninguna lesión comparable á las de la piel.

No sucede así con el sistema nervioso central, que es incomparablemente mucho más impresionable á la acción del radio que la misma epidermis.

Danysz ha aplicado sobre la columna vertebral y una parte del cráneo de un ratón de un mes de edad, un tubo de vidrio que contenía un centígramo de una sal rádica 500.000 veces más activa que el uranio, y observó que al cabo de tres horas se producía parexia y ataxia. Transcurridas siete ú ocho horas, sobrevenían convulsiones tetánicas cada vez más frecuentes é intensas, que terminaban con la vida del animal al cabo de doce á diez y ocho horas.

A medida que la edad del animal aumenta, sobreviene la muerte con más lentitud. Ratones de tres á cuatro meses tratados como anteriormente se ha dicho, mueren con los mismos síntomas después de tres ó cuatro días, y si la edad de aquéllos es de un año, tardan de seis á diez días en sucumbir.

Los mismos resultados ha obtenido Danysz operando con cobayas. Aplicando sobre la dura madre de un conejo trepanado un tubo con radio por espacio de ocho horas, no se observó fenómeno alguno en los dos días siguientes al de la operación, pero en el tercer día sobrevino una hemiplegia izquierda.

Las larvas de insectos, son asimismo paralizadas en sus movimientos al cabo de 24 horas, y muertas en el transcurso de dos ó tres días, cuando se encierran en un tubo de vidrio con otro que contiene radio.

Danysz ha estudiado también la acción á distancia del radio sobre pequeños animales. Para esto encerraba ratones en pequeñas jaulas de madera de cuyo techo suspendía el tubo con el radio. Operando con radio casi puro, los ratones eran atacados de parexia al cabo de veinte días y muertos poco tiempo después. La piel se inflamaba y reblandecía, hasta el punto de desgarrarse á la menor tracción. Todos estos fenómenos son tanto más rápidos é intensos cuanto más se prolongue la acción del radio, y más puro sea éste. Los experimentos ejecutados por London han dado los mismos resultados. La parálisis y la muerte de los animales sometidos á la acción del radio, parece ser consecuencia de un proceso hemorrágico intenso. Si se examina detenidamente el cerebro y la médula sometidos á la radiación rádica, se observa que los capilares están rotos y la sustancia nerviosa inundada de sangre, las células nerviosas no presentan en cambio alteración alguna apreciable.

Bohm ha insistido sobre este hecho que el radio produce en los vertebrados perturbaciones vaso motoras, las cuales según dicho fisiólogo favorecen el desarrollo de las radiodermitis y son causa determinante de las parálisis. En comprobación de su aserto, cita Bohm el caso de los vertebrados inferiores, en los que el sistema nervioso por no ser tan dependiente del circulatorio, no ha observado fenómenos de parálisis, y también en el hecho admitido por todos los experimentadores, de que el radio no produce alteraciones directas sóbre el tejido nervioso.

Scholtz ha obtenido resultados análogos á los de Donysz. Habiendo sometido varios conejos á la acción del radio por espacio de una, dos y tres horas al día, observó que al tercero ó cuarto día presentaban ligeros fenómenos morbosos, quedando inertes y con pérdida de nutrición. En algunos conejos, desaparecieron estos fenómenos después de 10 ó 12 días; pero en otros aumentaron en intensidad sobreviniendo la muerte en el transcurso de la segunda semana. Practicada la autopsia, encontró Scholtz, fuerte congestión de los vasos meníngeos y cerebrales.

Aún fueron más concluyentes los efectos producidos en el topo; sometidos varios de ellos á las radiaciones rádicas por espacio de 48 horas, presentaron en primer termino. fenómenos morbosos análogos á los observados en los conejos, seguidos después de parexia de las extremidades, á continuación paráli-

sis incompleta, y por último la muerte. La autopsia demostró hiperemia meníngea.

Repitiendo H. Obersteiner, profesor de Viena, los experimentos de Denysz, de Eineke y de Scholtz acerca de la acción de los rayos de Becquerel sobre el sistema nervioso, ha sometido varios ratones por espacio de uno á cuatro días á la acción de unas cápsulas que contenían bromuro de radio. Disponía el experimento, de modo que la cabeza del animal, recibiese la mayor parte de la radiación, los animales murieron en un tiempo que variaba con la duración é intensidad de la exposición, pero antes de llegar á tan fatal término observó Obersteiner los más variados trastornos. Los puntos atacados por la radiación no fueron siempre los mismos en los distintos experimentos, pero presentan el común carácter de atestiguar lesiones nerviosas estando en completo acuerdo con los fenómenos descritos en anteriores trabajos. Este autor ha notado que varios animales al parecer inmediatamente atacados y restablecidos después, murieron bruscamente al cabo de varias semanas, pero no indica, si la autopsia de estos animales permite atribuir su muerte á la acción del radio.

Los resultados de la autopsia de un gran número de ratones confirmó igualmente lo que ya se sabía de la acción del radio sobre los centros nerviosos, hechos que más atrás han sido consignados.

Lo más interesante, á nuestro juicio, de los trabajos de Obersteiner, es el estudio que ha hecho de la acción del

radio sobre las células de las astas anteriores de la médula, cuyos núcleos aparecen generalmente alterados, engrosados ó en forma de estrellas. En las grandes células motoras del bulbo y de la médula espinal, los conductos intracelulares de Holmgrev aparecían ensanchados, claros, muy visibles, y se podía seguir en la mayor parte su trayecto, hasta las arborizaciones protoplasmáticas. Las fibras nerviosas de la substancia blanca aparecían en cambio poco modificadas. La observación microscópica de los epitelios de las cápsulas de los ganglios espinales acusaban con auxilio del ácido ósmico numerosos gránulos negros de grasa, produciéndose también esta degeneración grasienta en los endotelios de los vasos del cerebro. Esta degeneración de los endotelios vasculares parece ser la alteración que en todo caso precede á las acciones que el radio ejerce sobre la piel y sobre los centros nerviosos.

Okada, después de múltiples observaciones, ha sentado la conclusión de que el radio no ejerce influencia alguna sobre los nervios periféricos, conclusión que concuerda con los resultados obtenidos por Scholtz. Bohm, en cambio, ha observado en los artropodos una anestesia periférica, después de haber sido sometidos á los rayos rádicos, anestesia que se traduce por una disminución de sensibilidad á los excitantes mecánicos y á las radiaciones térmicas y luminosas, á cuya conclusión ha llegado también Darier respecto del hombre mismo.

Su acción sobre los músculos, según ha observado Okada,

produce la degeneración grasienta de cierto número de fibrillas, y hemorragias intramusculares.

La acción que el radio ejerce sobre el ojo ha dado lugar á observaciones en extremo curiosas. Curie (1) ha resumido en las siguientes líneas el resultado de las investigaciones, que sobre este respecto han sido efectuadas por Giesel, Himsted y Negel (2): «Una sal de radio encerrada en una caja de cartón ó de madera actúa, no obstante, sobre el ojo y produce una sensación luminosa. Para obtener este resultado se puede colocar la caja delante del ojo cerrado ó sobre la sien. En estos experimentos los medios del ojo se vuelven luminosos por fosforescencia bajo la influencia de los rayos del radio, y por lo tanto la luz que se percibe tiene su origen en el mismo órgano.»

El Dr. Javel utiliza esta propiedad para el diagnóstico de la ceguera, pues mientras la retina no esté lesionada, el radio provocará, aun á través de los huesos del cráneo, una sensación luminosa.

Reciéntemente el Dr. London, de San Petersburgo, ha observado que los ciegos son muy sensibles á los rayos Becquerel, por cuya causa pueden adquirir una concepción visual del contorno de los objetos, situados delante de una

---

(1) «Curie Royal Institution of Great Britain» 19 de Junio 1900.

(2) Himsted et Negel, clun der Plusik, t. IV 1901.

pantalla de platinocianuro de bario activada por el radio. Los pacientes colocados en una cámara obscura perciben primero una mancha luminosa difusa é informe, luego un trazo horizontal ó vertical, después combinaciones de trazos, más tarde curvas y finalmente los contornos del objeto.

Es digno de anotarse el inefable placer que experimentan los ciegos sometidos á estos experimentos al ver con sus propios ojos formas de objetos que les son conocidas por el tacto. Pero este placer es efímero, cual sucede con las dichas de la vida; aparte de esa satisfacción momentánea que experimentan los infelices privados de la vista, á nada práctico parecen conducir las tentativas del Dr. London en el sentido de dar vista á los ciegos. No obtante, de desear sería continuasen las investigaciones emprendidas con tan humanitario fin, no sólo como medio de encontrar la terapéutica de la ceguera, sino porque el asunto en sí promete por su propia naturaleza el descubrimiento de nuevas y valiosas enseñanzas.

La acción que la emanación del radio produce sobre el organismo animal está siendo objeto de incesantes estustudios, desde el mes de Febrero próximo pasado por los doctores Bouchard, Curie y Balfhazard. Hé aquí los resultados obtenidos hasta ahora por los citados experimentadores, comunicados á la Academia de Medicina de París. Los experimentos han sido realizados con ratones y cobayas, encerrados en recintos, á los que se hacía llegar la

emanación del radio, y se renovaba de vez en cuando el aire confinado sin que hubiese pérdidas de emanación.

En estas condiciones, nótase que al cabo de una ó varias horas, según la cantidad de emanación contenida en la atmósfera del recinto, los animales manifiestan trastornos respiratorios, la aspiración se vuelve muy breve y al mismo tiempo se prolonga la pausa respiratoria, el animal queda inmóvil y su pelo se eriza, después le sobreviene un gran aplanamiento y se enfría. Los movimientos respiratorios conservan su carácter, pero su frecuencia disminuye considerablemente hasta quedar reducidos á diez, ocho, y hasta seis inspiraciones por minuto. Propiamente hablando, no existen, á pesar de la inmovilidad y del abatimiento de los animales, fenómenos de parálisis, pues las irritaciones violentas les producen siempre movimientos reflejos; existe un cierto grado de rigidez de los miembros y á veces convulsiones.

Como las emanaciones del radio transforman parcialmente el oxígeno en ozono, podría suponerse que este último gas es el determinante de los trastornos indicados; pero semejante suposición no puede admitirse, pues sometidos otros animales testigos á la sola influencia del ozono, mueren mucho después, aun cuando la atmósfera que respiren contenga una proporción de este gas, veinte veces más considerable que la producida por la emanación rádica.

Las lesiones observadas en las autopsias de los animales víctimas de la emanación del radio, consisten principalmente

en una congestión pulmonar intensa, sin hemorragias intersticiales ó alveolares, y sin alteración de los epitelios. La sangre sufre alteraciones que afectan sobre todo á los leucocitos cuyo número disminuye en totalidad. La rigidez comienza en el momento mismo de la muerte, y el corazón se paraliza en sístole.

Tres horas después de la muerte del animal, los tejidos son todavía radioactivos, alcanzando la radioactividad su máximun en los pelos, y después en las cápsulas suprarenales y los pulmones; la piel afeitada es poco activa. Esta radioactividad no sólo es debida á la radioactivación experimentada por el animal, sino á la presencia de emanaciones disueltas en los líquidos de su organismo.

No sólo actúa el radio sobre el organismo, determinando trastornos circulatorios y nerviosos, sino que á su vez ejerce acciones especiales sobre los pigmentos (materias colorantes) sobre los fermentos (agentes de digestión) y sobre las materias coloides (principios constitutivos de las células).

Es un hecho demostrado que la radiación rádica aumenta considerablemente la producción del pigmento en los tejidos en vías de desarrollo; una aplicación de duración débil, provoca sobre la piel humana una tardía y ligera pigmentación, pero si la aplicación es más prolongada, el pigmento natural ó patológico de la piel puede ser destruido; Bohm ha hecho desaparecer de su piel *nœvi* puramente pigmentarios. En vista de estas acciones, se ha supuesto

fundadamente que la piel de los negros blanqueará bajo la acción de los rayos rádicos.

A propósito de esto, Danysz ha observado también que, sometidos los ratones grises ó negros á la acción del radio, pierden su pelo para volver á salir completamente blanco.

Tiempo há que Giesel consiguió cambiar en amarillo el color verde de las hojas vegetales, sometiéndolas á la influencia del radio, y si este agente es capaz de transformar la clorofila, otro tanto debe ocurrir con la hemoglobina, pues desde los célebres trabajos de Nenckí, se conoce la analogía y parentezco existentes entre la materia colorante de las hojas y la materia colorante de la sangre. Suposición tan lógica, ha recibido, como no podía por menos, sanción experimental. V. Henri y A. Mayer (1) han demostrado que la hemoglobina bajo la influencia de los rayos α y β del radio se transforma en metehemoglobina. Para llegar á este resultado, han introducido en una solución de hemoglobina una ampolla radífera muy activa; transcurridas unas horas, la solución toma color parduzco, acusando el análisis espectroscópico, la aparición de una nueva raya, la de la metahemoglobina.

Determinando con el espectrofotómetro la serie de coeficientes de extinción de la solución indicada, se ha reconocido que la hemoglobina se transforma gradualmente en una mez-

---

(1) V. Henry y A. Mayer C. R. Biologie (Noviembre 1903, p. 1512 y 1514).

cla compleja de oxyhemoglobina y metahemoglobina, disminuyendo las bandas de absorción de la primera, al mismo tiempo que aparece la faja espectral de la metahemoglobina.

El radio actúa sobre los fermentos, ejerciendo sobre ellos una acción perfectamente definida. Pasaré por alto las observaciones poco precisas de Danysz y anotaré tan sólo, por razones de brevedad, los resultados obtenidos por Henri y Mayer (1).

Sometiendo estos dos experimentadores á la influencia rádica disoluciones de varios fermentos durante un tiempo bastante prolongado, han observado que la actividad de éstos disminuye progresivamente hasta abolirse por completo. La acción del radio en este caso parece ser lenta, débil y continua. Los resultados obtenidos no han podido ser más concluyentes con la invertina, emultina y tripsina, pero no ha sido así con la acción que el radio ejerce sobre la rapidez de coagulación de la sangre y de la caseificación.

Según Phisalix (2) el radio actúa de modo análogo sobre las ponzoñas. Sus notables experimentos con la ponzoña de la víbora no dejan duda alguna acerca de este punto. El radio ejerce una acción atenuante muy marcada sobre dicho veneno, tanto más intenso cuanto más se prolongue la aplicación de

(1) V. Henri et A. Mayer, C. R. Biologie 13 Febrero 1904.

(2) Phisalix, C. R. de 22 Febrero 1904.

aquél, y mayor sea su actividad. Los experimentos se han realizado con cobayas, todos del mismo peso, los cuales eran inoculados con volúmenes iguales de soluciones acuosas de la ponzoña, previamente sometidas á los rayos rádicos, por espacio de 6 á 58 horas. Otro cobaya testigo era inoculado con la misma cantidad de veneno, no sometido á la radiación rádica.

Los resultados obtenidos fueron siempre los mismos, mientras que el cobaya testigo moría á las diez horas de haber sido inoculado, los otros morían mucho después, y algunos llegaban á escapar de la acción mortífera de la ponzoña.

Al célebre fisiólogo y químico Hardy (1) se deben los primeros trabajos acerca de la acción del radio sobre los coloides. Estas substancias, verdaderos constituyentes esenciales de la materia viva, que lo mismo intervienen en la composición de todos los líquidos orgánicos como integran las membranas animales á través de las cuales se producen las absorciones y secreciones, se clasifican hoy en positivos (hidrato férrico) y negativos (plata coloidal, almidón, gelatina, albúmina, etc.) según sean desplazados por una corriente eléctrica en el sentido de dicha corriente ó en sentido inverso.

Hardy ha transformado la globulina (albúmina de la sangre) positiva ó negativa en acido-albúmina ó en álcali-albúmina; las dos soluciones fueron expuestas á las radiaciones del bro-

(1) Hardy, Society Philosophical of Cambridge, 21 Octubre 1903.

muro de radio; la solución electronegativa se transforma en tres minutos en una jalea opaca, y la electropositiva se vuelve más movible y menos opalescente.

V. Henri y A. Meyer (1) han demostrado que las radiaciones β (formadas como es sabido de proyectiles negativos) precipitan los coloides positivos. Habiendo sometido á la acción de estas radiaciones el hidrato férrico coloidal después de adicionar nitrato de sodio en cantidad suficiente para precipitarle, obtuvieron en el transcurso de 3 á 5 días el coloide precipitado.

Bohm crée que el radio actúa especialmente sobre la cromatina ó substancia fundamental del núcleo, considerada por los biólogos como la materia viva esencial, porque de la actividad de ella depende la asimilación y por lo tanto el crecimiento. Se sabe que la molécula de cromatina al destruirse produce substancias pigmentarias fosforescentes y fluorescentes y como el radio actúa sobre todas estas materias, fácilmente se deduce su modo de acción sobre la cromatina. Puede por tanto, formularse como principio general que todo agente físico (rayos catódicos, rayos X, rayos N, campo magnético..... etc.) capaz de actuar sobre las substancias fosforescentes, actúa también sobre la materia viva.

La acción del radio sobre la cromatina ha servido de

---

(1) V. Henri et A. Mayer C. R. Biologie 13 Febrero 1903.

base á Bohm para dar una interpretación racional de la notabilísima influencia que el citado elemento tiene sobre los tejidos en vías de crecimiento.

Bajo este respecto nada más interesante y concluyente que los célebres experimentos de Bohm (1) acerca de la acción del radio sobre los embriones de la rana y del sapo común. Sobradamente conocidas son las características metamórfosis que experimentan estos anfibios desde que el embrión sale del huevo hasta que llega á la edad adulta. Cuando nacen tienen el cuerpo ovalado, con una cola alargada y comprimida, sin vestigios de extremidades, sus mandíbulas están cubiertas por un pico córneo que les sirve para separar partículas de las plantas acuáticas de que se alimentan, razón por la que su tubo intestinal es muy largo y arrollado en espiral. Respiran por branquias, las cuales están constituidas en un principio por apéndices externos ó prolongaciones de la piel, y después por pequeños pinceles implantados en las ramas del hioides. A medida que el animal crece van desarrollándose las extremidades abdominales y luego las torácicas; la cola, menos necesaria ya por la presencia de las extremidades, disminuye de volumen y desaparece; caen las láminas córneas que revestían ambas mandíbulas, cambia el régimen ali-

(1) Bohm, C. R. Ac—Se 27 Abril 1903.

menticio de vegetal en animal; el tubo disgestivo se acorta, y por último desaparecen las branquias y se desarrollan los pulmones.

Sometidos 38 embriones de rana de 1, 2, 3, 4, 5, 7 y 8 días de edad á los rayos Becquerel, observó Bohm que 9 embriones murieron casi inmediatamente y en los restantes el crecimiento y desarrollo fué considerablemente detenido, pero al llegar la época de la metamórfosis, se realizaba con tal anormalidad respecto á la cabeza, que el renacuajo se convertía en un monstruo, presentando una estrangulación al nivel del cuello, branquias permanentes y plegamiento de los tejidos cefálicos.

Los mismos resultados ha obtenido Bohm experimentando con los embriones del sapo y con los huevos del erizo de mar (1) hechos que comprueban hasta qué punto pueden los rayos rádicos detener y perturbar el crecimiento de los tejidos.

No menos dignas de anotarse, son las observaciones de Jan Tur, profesor de Varsovia, que ha sometido por espacio de 24 á 70 horas los huevos de gallina en vías de incubación á la influencia de un cloruro de radio (con 35% de este metal) colocado sobre el cascarón de dichos huevos. Los embriones monstruosos resultantes presentaban siempre los mismos caracteres

---

(1) Bohm C. R. Ae— Se Mayo 4 y C, R. Biologie Mayo 16, 1993.

teratológicos. Las modificaciones afectaban siempre á las partes centrales del blastodermo, mientras que las periféricas del embrión presentaban un desarrollo casi normal. El examen histológico de los cortes transversales de estos embriones monstruosos acusan que el ectodermo es reducido en toda su extención á una capa delgada de células aplastadas imposibles de diferenciar, mientras que las células del endotermo se hallan en vías de intensa proliferación.

Dedúcese de estos experimentos y de otros que omitimos, como los de P. K. Gilman y F. H. Bactjer (1) acerca de la acción del radio sobre el desarrollo de los batracios y los de Schaper (2) que ha estudiado la misma influencia sobre los huevos de la rana esculata, que el radio paraliza el desarrollo de ciertos tejidos, al paso que otros se desarrollan bajo su acción con toda normalidad; cuyo resultado indica que no todas las células tienen la misma sensibilidad á la radiación rádica; y en efecto, la experiencia ha demostrado que las células menos diferenciadas, y sobre todo, las que se dividen con más actividad son las más influidas por el citado agente. Esta irregularidad é inarmonía en el desarrollo y crecimiento de los tejidos ha de producir como consecuencia forzosa las deformidades teratológicas observadas.

Basta que los rayos del radio atraviesen el cuerpo de un

---

(1) Amer, Jouru of Phinol t. x 1904 p. 222-224.

(2) Deutsch med Woch 1904 pp. 1434-1437 y 1465-1468.

animal durante algunas horas para que los tejidos adquieran nuevas propiedades, cambio que podrá quedar oculto durante más ó menos tiempo, para manifestarse luego repentinamente en el preciso momento en que la actividad normal de los tejidos aumenta.

Y este estado latente de la transformación para manifestarse bruscamente en una época determinada es lo que al parecer hay aquí de anómalo y curioso; mas si nos fijamos con detenimiento en tan sorprendente hecho, observaremos que nada tiene de excepcional, ni mucho menos puede señalarse como privativo ó específico del radio en su dinamismo fisiológico, pues según los experimentos de Marriefield, de idéntico modo se comportan otros agentes físicos. Expuesta una oruga á una luz coloreada, ningún cambio se advierte por el pronto, pero la crisálida resultante de la evolución orgánica presenta el mismo color que el de la luz que actuó sobre la oruga y hasta en el hombre mismo ¿no es muy frecuente observar cierto estado latente en la similitud de sus rasgos fisonómicos con los de sus progenitores, hasta llegar á cierta edad, á partir de la cual el individuo empieza á parecerse á uno de ellos (por ejemplo) á su padre?

Dauphin ha obtenido conclusiones análogas respecto á la acción del radio sobre el desarrollo y crecimiento de los hongos (1) y en cuanto á su acción sobre las semillas, mientras

(1) Sciencie au XX Siecle, núm. 15.

Matout sostiene que el radio destruye su poder germinativo, Dixon asegura que su acción es nula, seguramente esta diversidad de efectos, como muy oportunamente observa Miss E. Willcock, sólo debe depender de una diferencia de dosis del agente radioactivo.

El conocimiento de las acciones fisiológicas del radio ha conducido como era natural y lógico al de sus aplicaciones terapéuticas; asunto de extraordinario interés, inaugurado bajo los más felices auspicios y repleto de las más lisonjeras esperanzas.

Antes de abordar cuestión tan trascendental importa distinguir en primer término los efectos terapéuticos producidos por la emanación del radio, de los dependientes de la radiación. De la emanación considerada como agente terapéutico nada se sabe hasta la fecha, aparte de su acción fisiológica altamente mortífera para los pequeños mamíferos, según resulta de los experimentos de Bouchard, Balthazard y Curie anteriormente consignados.

Las acciones terapéuticas de la emanación son por hoy completamente desconocidas, y dada la forma en que se aplica el radio en terapéutica, no puede intervenir aquélla en los resultados producidos. En efecto, para esta aplicación se encierra la sal de radio en recipientes de ebonita, de vidrio ó de metal herméticamente cerrados, impidiéndose así el más ligero

escape de emanación, sin que por ello los rayos rádicos dejen de atravesar más ó menos fácilmente las paredes del receptáculo. Sólo por tanto en la terapéutica de estos rayos hemos de fijar nuestra atención.

Circunscrito así nuestro objetivo y considerando la gran analogía existente entre la radiación rádica y la de Röntgen, sobre todo en lo que respecta á los efectos terapéuticos, consideramos útil y ventajoso estudiarlas comparativamente no sólo en lo que atañe á los efectos que producen sobre los diversos receptores, sino en lo referente á sus cualidades específicas, estrechamente relacionadas con su naturaleza é independientes de la acción que puedan ejercer sobre cualquiera receptor.

Examinada la cuestión bajo este doble punto de vista, nos encontramos, que si bien ambas radiaciones difieren por su cualidad, se asemejan por el contrario en sus efectos. Los rayos α β y γ cuyo conjunto constituye la radiación rádica tan diferentes entre sí cualitativamente, producen sobre los diversos receptores los mismos efectos que los rayos Röntgen; unos y otros, según hemos visto, iluminan las substancias fluorescentes, impresionan las placas fotográficas, colorean gran número de substancias, ionizan el aire y modifican en su estructura y evolución los elementos celulares de los tejidos vivos.

Las intensidades relativas de cada uno de estos efectos puede servir de base á la determinación cuantitativa de la radiación rádica y como obligado corolario permite juzgar de la riqueza relativa en radio de dos muestras de sales radíferas con la

misma exactitud que se comparan por vía química dos muestras de opio respecto á la proporción de morfina. La pantalla fluorescente, la placa fotográfica, las sales colorables, la ionización del aire y las células vivas del tegumento cutáneo constituyen otros tantos medios para la resolución del problema expuesto.

De estos diversos métodos que tienen por fundamento el empleo de los indicados reactivos; métodos fluoroscópico, radiográfico, cromométrico, eléctrico y biológico, ya hemos visto que los físicos prefieren el eléctrico por conducir á medidas más precisas.

Inexcusable es al médico el conocimiento exacto del poder radioactivo de la substancia que ha de utilizar, pero esto no es bastante si ha de proceder conforme á los principios más elementales de la Terapéutica. Ese dato debe de ir acompañado de otro no menos valioso; la cantidad de materia activa, ó en otros términos, la dosis del agente medicamentoso.

A este propósito transcribiré las palabras del sabio médico del Hospital de San Antonio de París, Dr. Béclére, consignadas en un célebre artículo que escribió referente á la dosificación en radioterapia. «Es una ley general que todo agente terapéutico debe ser dosificado. Sea cualquiera su origen y su naturaleza, ya pertenezca al reino mineral, vegetal ó animal, ya sea un agente físico, una combinación química, un producto natural ó de laboratorio, una secreción

orgánica normal, ó un suero dotado artificialmente de propiedades nuevas, las reacciones curativas que provoca dependen por una parte de su grado de actividad, y por otra de la cantidad empleada; importa pues, medir con la precisión posible estos dos factores.» «Los rayos Röntgen considerados como agente terapéutico no hacen excepción á esta regla, ó mejor dicho han cesado ya de hacer excepción.

Y en efecto así ha sido; gracias al cromorradiómetro de Holzknecht que permite medir la cantidad de rayos X, se ha podido comprobar la siguiente ley formulada por Kiembæck: «La reacción de la piel depende de la cantidad de rayos que la hieren.»

Pero con ser muy importante la determinación cuantitativa de estos rayos, no lo es menos el conocimiento de su cualidad; así mientras los rayos muy penetrantes no ejercen acción alguna sobre los tejidos, los poco penetrantes ejercen una acción poderosa sobre los tejidos que los absorben.

Con el radiocromómetro de Benoist que determina la cualidad de estos rayos, el osmoregulador de Villard que permite variar el vacío en el interior del tubo generador y el spintérmetro del Dr. Bédére, que indica á cada instante el grado de penetración de los rayos, se pueden someter los rayos Röntgen á toda clase de medidas y la radioterapia antes conjunto informe de conocimientos empíricos, se ha convertido, merced á estos nuevos descubrimientos, en una verdadera ciencia.

Todo lo anterirmente expuesto puede ser fielmente aplica-

do á las sales de radio y á su radiación. Compréndese fácilmente que la energía potencial contenida en una cantidad dada de un compuesto rádico es igual al producto de su peso por el grado de actividad; luego para una misma sal á un peso doble corresponderá también doble energía. Esto es bien claro.

Si delante de una pantalla fluorescente se colocan por ejemplo dos pequeños recipientes que respectivamente contengan 2 miligramos de bromuro rádico puro y 15 centigramos de una sal bari-rádica de 500.000 de actividad, obsérvase á primera vista que aun cuando la sal impura posee menor actividad, como su cantidad compensa con exceso la diferencia de poder radioactivo, ilumina la pantalla con mucho más brillo.

Mas no basta aquí, dado el uso terapéutico de las sales rádicas, el conocimiento de la cantidad empleada y de su actividad cual sucede con otros agentes terapéuticos; dentro de este estudio que muy bien puede llamarse la *posología* de la radiación del radio, precisa fijarse en otro factor nada despreciable; tal es la naturaleza y espesor de pared del recipiente que contiene la sal rádica.

Ya sabemos que esta sal no puede aplicarse directamente sobre la piel. Para sus aplicaciones terapéuticas, según antes se ha indicado, es preciso encerrarla en receptáculos herméticamente cerrados de ebonita, vidrio ó metal, para utilizar tan sólo su energía radiante y no perder nada de tan preciosa y carísima substancia.

Mediante esta disposición los rayos α, tan absorbibles, son

completamente detenidos por la pared del recipiente, la cual sólo deja libre acceso á los rayos β de mayor poder penetrante y á los rayos γ. De aquí se deduce la imprescindible necesidad de evaluar en cada caso, la parte de radiación absorbida por la pared del recipiente.

Según las determinaciones efectuadas por el método eléctrico, una pared de aluminio de $\frac{1}{10}$ de milímetro de espesor ó una pared de ebonita cuyo espesor no exceda de $\frac{2}{10}$ de milímetro, sólo deja pasar el 90 $^{0}/_{0}$ de la radiación primitiva.

Importa por tanto distinguir el grado de actividad real, ó mejor dicho, potencial de una porción dada de sal de radio, supuesta desprovista de toda envuelta de lo que pudiéramos llamar grado de actividad eficaz, el cual varía con la naturaleza y el espesor de la pared del recipiente que la contiene.

Supongamos que una cajita de aluminio de $\frac{1}{10}$ de milímetro de espesor en sus paredes contiene 15 centigramos de sal rádica de actividad 500.000, lo cual ya sabemos significa que un gramo de dicha sal es 500.000 veces más activa que un gramo de uranio metálico. Si esta actividad es la que corresponde á un gramo de la sal empleada, la actividad real ó potencial que corresponderá á los 15 centigramos será 75.000; mas si se tiene en cuenta la absorción habida por la pared metálica, la radiación transmitida desciende á 7.500, número representativo de la actividad eficaz correspondiente á los 15 centigramos de la sal rádica en las condiciones señaladas.

Y cabe ahora preguntar. De los distintos métodos conocidos para medir la actividad de las sales de radio ¿á cuál debe dar el médico la preferencia? ¿Debe ser preferido el método eléctrico tan justamente estimado por los físicos? Pero esta pregunta presupone esta otra. Los diversos métodos empleados para evaluar la actividad del radio ¿son realmente equivalentes? Si por el método eléctrico se ha llegado á la conclusión de que una muestra de sal rádica ioniza doblemente el aire que otra ¿debemos por eso deducir que aquélla iluminará también con doble brillo la pantalla fluorescente, que reducirá asimismo sobre la placa fotográfica doble cantidad de sal argéntica, que coloreará con intensidad dupla al reactivo del Dr. Holzknecht y que al actuar sobre la piel provocará una reacción dos veces más intensa?

La experiencia ha contestado negativamente. Como muy oportunamente dice la Sra. Curie (1), los resultados obtenidos con los diversos métodos no son entre sí sino muy groseramente comparables y hasta pueden diferir considerablemente. Y esta conclusión á primera vista paradógica tiene facilísima explicación á poco que se medite. La placa sensible, la pantalla fluorescente, el gas que se ioniza, la sal que se colorea, la piel que se destruye, son otros tantos receptores de la energía emitida por el radio que al absorberla, la transforman en otra espe-

---

(1) Le radium, t. 2.°, n.° 2.

cie de energía; energía química, energía iónica ó energía luminosa. Cada receptor sólo absorbe una parte de la compleja radiación rádica, cuya absorción electiva depende esencialmente de la naturaleza de aquél. Así se comprende que receptores distintos absorban distintas fracciones de la radiación becquereliana diferenciables entre sí cualitativa y cuantitativamente.

Por otro lado, es un hecho comprobado por la Energética que jamás una energía se transforma integralmente en otra ¿luego la energía absorbida por el receptor nunca se transforma por completo en la energía que deseamos medir, parte de aquélla puede cambiarse en calor, luz, electricidad, en energía química distinta de la que buscamos, ó transformarse en radiaciones secundarias que según los casos serán ó no utilizadas en la producción del fenómeno objeto de la observación.

Tal es la autorizada opinión de la Sra. Curie, de trascendencia suma en todo lo que se refiere á las aplicaciones terapéuticas del radio.

La radiación rádica lo mismo que la de Röntgen, no actúa sobre los tejidos vivos sino allí donde es absorbida y en la magnitud en que se efectúa la absorción. Partiendo de este hecho propone Béclére que para fines terapéuticos, se sustituya el método de medida eléctrico por otro que esté fundado en la absorción parcial de la radiación mediante una substancia cuyo espesor sea aproximado al de la piel aun cuando varíe su composición química. Como las sales haloideas alcalinas se colorean indistintamente por los rayos rádicos y los de Röntgen se

halla perfectamente indicado en *radiumterapia* como ya se hace en radioterapia el empleo del método cromométrico.

El aparato que se emplea con este objeto es el cromorradiómetro del Dr. Holzknecht, compuesto de una serie de reactivos aislados y una escala graduada que sirve de comparación. Los reactivos están constituidos por una sal haloidea alcalina incorporada á una substancia transparente, contenido todo en un pequeño vaso. La escala graduada se compone de doce vasitos del tamaño de los anteriores, encerrados en una caja que los preserva de la luz, los cuales presentan una coloración azul verdosa, cuya intensidad se acentúa gradualmente de un extremo á otro de la serie. Cada grado de la escala lleva una cifra indicadora de la cantidad de rayos absorbidos, con relación á una unidad arbitrariamente elegida por el inventor, y que sin definirla designa por la letra H.

Conocido el aparato, el mecanismo de la operación no puede ser más sencillo. Todo se reduce á colocar durante determinado tiempo junto al vasito reactivo, la ampolla que contiene el radio y á comparar después la coloración adquirida por el reactivo con las de la escala. El efecto cromático puede ser obtenido con una ó varias exposiciones, cuidando en este caso de conservar el vasito en la obscuridad durante los intervalos.

Valiéndose de este método ha podido el Dr. Béclére estudiar comparativamente la acción colorante de una muestra de sal bari-rádica y los de algunos centigramos de bromuro

rádico puro. El primero de estos productos contenido en una delgada cápsula de aluminio y aplicada sobre un vasito reactivo, provoca en treinta minutos la aparición de la tinta correspondiente á la absorción de tres unidades H, mientras que el bromuro de radio puro á la dosis de 43 centigramos encerrado en un tubo de vidrio de unas $\frac{3}{10}$ de milímetro de espesor, aplicado sobre otro vasito reactivo, produce en 5 minutos la coloración correspondiente á la absorción de cinco unidades H, resultado que acusa una actividad diez veces mayor.

Ante este resultado es lógico suponer que si la sal barirádica, al actuar sobre la piel durante un tiempo dado, provoca en ella una cierta reacción; el bromuro de radio puro producirá el mismo efecto en un tiempo diez veces menor.

Basta lo ha en grandes rasgos expuesto para comprender la importancia del invento del Dr. Holzknecht en radiumterapia. Merced á él la terapéutica del radio ha dejado de ser un empirismo para convertirse en un sistema terapéutico racional y eminentemente científico. Con ayuda del cromorradiómetro puede dosificar el médico el agente radioactivo que utiliza, relacionar los diversos efectos observados y comparar entre sí los distintos métodos de tratamiento para elegir el más conveniente en cada caso especial. Así, mediante el estudio de los efectos producidos, podrá dilucidar con verdadero conocimiento de causa si para obtener (por ejemplo) las 10 unidades H necesarias para conseguir determinado efecto, es preferible una larga aplicación de sal poco activa,

ó una aplicación corta de sal pura. Y finalmente puede juzgar con acierto del grado de intensidad con que ha de aplicar la substancia radioactiva en relación con la naturaleza y carácter de la lesión sometida al tratamiento terapéutico, llegando así á determinar (por ejemplo) que la acción de 6 unidades H conviene para cierta clase de lupus ó de cáncer, mientras que para otra sería necesario llegar á las 10 unidades H.

La forma del foco emisivo de la radiación rádica es otra circunstancia que no puede pasar inadvertida por contribuir de manera poderosa al modo de repartirse dicha radiación en el espacio y depender de este reparto el grado de penetración del haz emanado al actuar sobre los tejidos.

En efecto, si el foco radiante es puntiforme ó casi puntiforme, como acontece cuando algunos centigramos de sal rádica ocupan el fondo de un pequeño tubo de vidrio, la radiación está constituída por rayos divergentes en todos sentidos, cuya intensidad varía en razón inversa del cuadrado de la distancia. En virtud de esta ley, basta el alejamiento de un centímetro del foco emisivo aplicado sobre la piel, ó lo que es lo mismo, basta la profundidad de un centímetro para que la radiación sea cien veces menos intensa que á la profundidad de un milímetro y esto sin tener en cuenta la fracción de energía absorbida por los tejidos.

Plantéasele por lo tanto al médico el dilema siguiente: ó bien hace absorber á los tejidos situados á la profundidad de un centímetro la dosis medicamentosa suficiente para producir

un efecto terapéutico, pero á costa de una destrucción más ó menos intensa de la piel, ó bien administra una dosis ineficaz, ó de corto alcance, para el tejido enfermo, si ha de respetar la integridad del tegumento epidérmico.

Sólo cuando la sal de radio se apila formando una capa plana de cierta extensión y espesor es cuando la radiación emitida puede considerarse formada por rayos paralelos, cuya intensidad no decrece ya con la distancia, sin experimentar en este caso otras mermas apreciables al penetrar en la profundidad de los tejidos, que la fracción de energía que éstos absorben al ser atravesados por la radiación. El aparato construido por el Dr. Béclère (1) responde hasta donde es posible á este *desideratum*.

Redúcese en su parte más esencial á una pequeña caja metálica de caras paralelas en cuyo interior se extiende 15 centigramos de bromuro de radio formando una capa plana de 6 ó 7 milímetros de espesor. La cara metálica que se ha de poner en contacto con la región sometida al tratamiento es una hoja de aluminio de una décima de milímetro de espesor; la cara opuesta, mucho más gruesa, es de platino y lleva una articulación para adaptarse á la extremidad de una varilla metálica provista de un mango de madera, pudiendo tomar así todas las posiciones posibles con relación al eje de la varilla que le sirve de soporte.

Mediante esta disposición puede fácilmente introducirse

---

(1) Le radium, t. 2, n.º 2, p. 52.

dicha caja en una cavidad cualquiera, en la bucal, por ejemplo, y aplicarse exactamente por su cara de aluminio sobre una amígdala, ó sobre la base de la lengua ó la bóveda del paladar.

La forma de esta caja, que es un cuadrado perfecto de once milímetros de lado, es preferible á la circular que se encuentra en el comercio para los mismos usos, y la razón de esta preferencia es fácil deducirla. Cuando la superficie de la región enferma es más extensa que la de la caja, es necesario subdividir aquélla en cierto número de circunscripciones sobre las cuales se aplica sucesivamente la sal de radio. Si la caja fuese circular se nos presentaría uno de estos dos inconvenientes: ó dejaríamos sin tratar ciertas porciones de la superficie enferma, las comprendidas entre los círculos tangentes, ó para evitarlo tendríamos que superponer parcialmente los círculos tratados, dando así á ciertas regiones doble dosis de la necesaria. Ambos inconvenientes desaparecen con el uso de cajas rectangulares ó cuadradas, pues dada la forma del recipiente, la aplicación puede hacerse de modo que todos los puntos de la región enferma, convenientemente dividida, reciban sucesivamente la misma dosis del agente terapéutico.

Pasemos ahora una rápida ojeada á las diversas afecciones contra las cuales se ha intentado hasta la fecha el empleo terapéutico de las sales de radio.

Se ha utilizado la radiación rádica contra la atonía de los tejidos, modificando la nutrición de la región y excitando las formaciones glandulares y pilares.

Contra las lesiones de la piel y de las mucosas, tales como

las ulceraciones de naturaleza lúpica ó epiteliomatosa, para la curación de los *nævi* vasculares la psiorasis. El radio ofrece en este caso la ventaja de poderse aplicar á regiones donde el empleo de los rayos Röntgen es dificilísimo, como ciertos puntos de la cara, pabellón de la oreja, ángulo interno del ojo, carúncula lagrimal, etc., y en el interior de ciertas cavidades; boca, faringe, laringe, etc., á cuyos sitios es muy difícil, por no decir imposible, la introducción de la ampolla Röntgen.

Bajo este punto de vista se ha dicho y con razón que las sales de radio constituyen la edición de bolsillo de la ampolla Röntgen, y aún puede añadirse que dichas sales constituyen una minúscula ampolla de Röntgen extraordinariamente blanda (1).

Contra las afecciones caracterizadas clínicamente por trastornos funcionales y principalmente por trastornos dolorosos, tales son las que pertenecen al grupo de las algias. Según los trabajos del Dr. A. Darier el radio calma las neuralgias, los dolores violentos de la eritis reumática de los tridociclitos traumáticos, etc., y los dolores agudos de los cánceres inoperables.

El Dr. Dobrjausky, de San Petersburgo, ha observado el efecto analgésico del radio en un caso de cáncer vaginal. El Dr. Darier abriga la esperanza de que el uso interno de las sales de radio calmen los dolores gastrálgicos ó intestinales, ya sea su origen nervioso ó producido por la úlcera simple, cáncer del estómago ó del intestino. También augura buenos efectos

---

(1) Béclére. Le radium, t. 2.º, n.º 2, p. 54.

de la emanación del radio para la curación de las afecciones laríngeas y pulmonares.

En lo que concierne á la curación del lupus, el Doctor Danlos (1) ha obtenido brillantes resultados confirmados más tarde por J. Maclutyré (2), Goldberg y London, de San Petersburgo.

Dos métodos de tratamiento se han empleado en esta curación; el de las aplicaciones cortas y repetidas y el de las aplicaciones prolongadas, siendo este último el ordinariamente seguido.

Los fenómenos correlativos que se producen por la aplicación del radio sobre las superficies lúpicas pueden clasificarse en tres períodos; 1.° pre-ulcerativo, 2.° ulcerativo, 3.° de cicatrización.

1.er período. Después de una fase latente, variable de ocho á veintiún días, aparece un eritema, á continuación la piel se macera, palidece, se rodea de una fajá rojiza y se recubre de escamas ó de flictenas flácidas.

El eritema se presenta siempre perfectamente limitado y aun tratándose de un lupus eritematoso intenso, se distinguen con claridad los contornos de la placa. Si la reacción es insuficiente, la zona de maceración ó de flictena se seca, descama y deja ligera escoriación.

Cuando la tumefacción es fuerte, rezuma serosidad, fór-

()1 Dr. Armand Blaudamour. Traitment du lupus par le radium.

(2) Mac Lutys, British Medical Journal. 25 July, 1903.

manse costras amarillentas aisladas ó confluentes que caen y dejan una sola escoriación.

Los enfermos tratados por el radio se quejan durante este período de una ligera picazón después del eritema.

2.º período. Una vez caída la placa, aparece la ulceración desde los quince á los veinte días. Esta se produce por la reunión de pequeñas escoriaciones diseminadas por los puntos donde se hallan tubérculos en actividad. La pérdida de substancia es algo más extensa que la placa á causa de los rayos laterales.

La ulceración presenta un aspecto blanquecino, cuyo fondo es liso y plano y sin mamelones carnosos, siendo lo más característico la atonía que presentan los tejidos para crecer y reparar la pérdida de substancia.

La superficie ulcerosa se recubre de un exudado incoloro á veces sanguinolento, la sensibilidad se excita, el enfermo propende á rascarse y percibe la sensación de una quemadura.

3.er período. Lo más importante del mismo es la lentitud de la cicatrización. Cuando ésta se verifica al cabo de un plazo variable entre seis días y tres semanas queda una cicatriz blanca, lisa, superficial y blanda.

Las aplicaciones del radio son generalmente inofensivas; los únicos accidentes observados hasta hoy por el Dr. Danlos debidos á una aplicación demasiado prolongada, consisten en ulceraciones más ó menos dolorosas y en retardo de la cicatrización.

Las ventajas de este tratamiento son: su gran rapidez (3 á 5 semanas), su simplicidad y su inocuidad.

La radiumterapia ha sido empleada con éxito contra el cáncer superficial y el hepitelioma, si hemos de creer las observaciones publicadas por distinguidos clínicos. Hé aquí tres opiniones formuladas por médicos americanos:

El Dr. Stovers de Washington cree que los rayos Becquerel tienen cierta eficacia sobre los cánceres superficiales y ninguna sobre los profundos. El Dr. Skinner afirma, por el contrario, que actúa sobre los cánceres profundos. Finalmente, para los Doctores Alex y Graham de Nueva Escocia el radio ofrecerá sobre los rayos X la ventaja de obrar sobre la misma región enferma en virtud de su mayor poder penetrante.

El Dr. Exner de Viena ha tratado varios cánceres de la cara con ampollas que contenían una sal de radio muy activa; los tumores se reblandecían, disminuían de volumen y eran reemplazados por una cicatriz de buen aspecto.

El Dr. Mackencie - Davidson en el hospital de Charing - Cross de Londres ha obtenido la curación de un cáncer de la nariz y de un hepitelioma que había destruido todo el párpado inferior.

A estos satisfactorios resultados hemos de unir los obtenidos en el pasado año por el Dr. Hartigan, sabio dermatólogo de Londres que ha conseguido la curación de tres casos de cáncer, uno de ellos el de un hombre de ochenta años que tenía un cáncer en la boca con dolores agudísimos y cuya dolencia ha desaparecido en absoluto.

La acción que el radio ejerce sobre las bacterias ha sugerido la idea de aplicarlo para la curación de las enfermedades infecciosas y de la tuberculosis pulmonar. La dificultad en estos casos consiste en dirigir su aplicación de modo que sólo actúe sobre las bacterias sin que ejerza su acción destructora sobre los tejidos. F. Sody (1) ha propuesto hacer respirar á los enfermos atacados de tuberculosis pulmonar, la emanación de un metal débilmente radioactivo tal como el torio.

El Dr. Tizzoni, Profesor de la Universidad de Milán, tan conocido en el mundo científico por su descubrimiento del suero antitetánico, ha presentado reciéntemente una Memoria á la Academia de Ciencias de Bolonia dando cuenta del notable éxito alcanzado con el uso del radio para la curación de la hidrofobia.

Los experimentos ejecutados han sido los siguientes: después de inyectar en varios conejos el virus rábico más activo de todos los conocidos, sometió dichos animales durante varios días á la acción de los rayos rádicos, consiguiendo así su completa curación, mientras que otros inoculados igualmente, pero no sometidos al mismo tratamiento, murieron de la mencionada enfermedad.

En la actualidad se propone ensayar su procedimiento en el hombre prometiéndose los mismos resultados aun en período avanzado de la dolencia.

Por último, el Dr. Tracy (2) ha propuesto el uso interno

---

(1) Sody, «British, Medical Journal,» 25 de Julio 1903.

(2) Nev-York: Medical Journal» Enero de 1904.

de una disolución de cloruro sódico radiolizada para combatir la tuberculosis, la difteria, la fiebre tifoidea, el paludismo, gastro-enteritis y el cáncer del estómago y de los intestinos.

Esta disolución salina radiolizada puede también aplicarse localmente en pulverizaciones, gargarismos, inhalaciones, colirios, etcétera. En pulverizaciones surte buenos efectos en las afecciones de la nariz, garganta y pulmones por cubrir las mucosas de una capa delgada de dicho líquido, que es antiséptico, el cual permanece varias horas en contacto de los tejidos.

Pueden aumentarse los efectos de estas soluciones radiolizadas, exponiendo al paciente á los rayos ultraviolados ó administrándole al interior la quinina por sus propiedades fluorescentes.

Los efectos fisiológicos y terapéuticos observados en las aguas minerales desde la más remota antigüedad han sido y siguen siendo objeto de meditación y estudio para los médicos hidrólogos.

A las primitivas teorías, que buscaban la explicación de estos efectos en la influencia de ciertas divinidades (época mística), siguen aquellas otras, que atribuían á estas aguas una acción disolvente sobre ciertos vapores, flotantes á nuestro alrededor, y cargados de la enfermedad. A este período sigue otro propiamente científico que co-

mienza en las investigaciones analíticas de las mencionadas aguas, atribuyéndose á su composición química sus efectos terapéuticos; pero bien pronto surgieron algunas decepciones, cuando los mismos análisis químicos demostraron que ciertas aguas débilmente mineralizadas (aguas oligometálicas) tenían acciones tanto ó más marcadas que otras de mayor mineralización. Entonces se apeló para explicar estas anomalías, á las condiciones higiénicas de las localidades donde asentaban los manantiales, á las acciones hidroterápicas generales, en tanto que otros médicos y químicos se perdían en el laberinto de mil confusas hipótesis.

Durand-Fardel, en 1860, decía: «los conocimientos relativos á las aplicaciones terapéuticas de una agua mineral se obtienen únicamente de la clínica y de la inducción,» y el Doctor Pidoux afirmaba que «las aguas minerales naturales tienen todos los caracteres de líquidos organizados y vivos, son como medicamentos animados.» Pensamiento completado por Chaptal con la siguiente frase: «analizando un agua mineral sólo se diseca su cadáver.»

Se creyó por un momento haber resuelto tan misterioso problema, cuando Scoutetten, en 1864, publicó una obra resumiendo sus trabajos sobre el estado eléctrico de los manantiales termales. Ya antes de él, en 1828, Baum Gartner y Marian Roller habían observado que las aguas termales de Gastein se descomponían por la pila eléctrica de modo distinto que las aguas dulces; en vez de hallarse el hidrógeno y oxígeno desprendidos en la relación volumétrica de 2 á 1, como acom-

tece con el agua en su estado ordinario, dicha relación era de 3 á 1 en el agua mineral de Gastein. Mas semejante exceso en la proporción de hidrógeno no fué de nuevo encontrado por los mismos experimentadores al efectuar el análisis electrolítico de otras aguas minerales; se trataba, pues, de un hecho en cuya génesis habían intervenido causas especiales, y aun cuando otros experimentos efectuados en 1853 por Leconte en Eughien y en 1872 por Jutier y Lefort en Plombières, acusaron al parecer resultados idénticos á los primeramente indicados, sus mismos autores los acogieron con gran reserva sospechando la influencia que en estos casos puede tener la diferencia de solubilidad de los gases en una agua saturada de gas respecto á otra no saturada.

Renard en 1827 comprobando la acción del estado eléctrico de la atmósfera sobre las aguas termales; Turek en 1837 emitiendo la idea de que la piel desprende constantemente electricidad negativa, actuante sobre el agua mineral en virtud de un efecto electroquímico, y Patissier en 1839 imaginando la posibilidad de un efecto eléctrico asociado á una combinación especial de los elementos minerales contenidos en el agua, no hacen otra cosa que añadir nuevas y caprichosas hipótesis desprovistas de todo asiento experimental.

Los trabajos realizados en 1864 por Scoutetten ampliaron nuestros conocimientos sobre las condiciones eléctricas de las aguas minerales. El punto de partida de estas nuevas investigaciones ha sido el siguiente principio estable-

cido por Becquerel padre é hijo. «El contacto de la tierra con una capa ó corriente de agua determina una diferencia de potencial eléctrico; la tierra toma un exceso notable de electricidad positiva ó negativa y el agua un exceso correspondiente de electricidad contraria, según la naturaleza de las sales ó de otros compuestos disueltos en las aguas». Es este un hecho tan general, decían los físicos citados, que no sufre excepción alguna.

Scoutetten, introdujo un eléctrodo en el agua del manantial y otro en el suelo, ambos en comunicacion con un amperómetro para observar las diferencias de potencial, y en tanto las aguas ordinarias aparecían electrizadas positivamente, las minerales lo eran negativamente. Habiendo comparado por este procedimiento las aguas de Plombiéres con las de río, observó que el agua mineral vieja no manifestaba el mismo fenómeno, en tanto que la nueva se presentaba electrizada negativamente respecto al agua de río.

Explica Scoutetten estos hechos por la mayor ó menor cantidad de oxígeno existente en las aguas, y deduce conclusiones difíciles de aceptar por la escasa garantía de los experimentos en que se fundan, especialmente cuando el autor, con seriedad refiere que una botella de agua vieja de Balarue, cuyas propiedades laxantes han desaparecido, vuelve á recobrarlas calentándola en los manantiales de Plombiéres, y permanece inactiva si se la calienta simplemente al baño maría, lo que conduce á la peregrina hipótesis de admitir en el calor natural cierta inherencia de propiedades especiales desconocidas.

La misma desconfianza nos merecen los experimentos llevados á cabo en 1900 por el Dr. Mitrophane Sestchinsky, cuyo autor emite al final de sus conclusiones cierta idea sobre la ionización de las soluciones, refiriéndose á los trabajos de Arrhenius, Van t'Hoff y Ostwald.

Los recientes y notables trabajos de Elster y Geitel, Curie, Struff, Thomson, Himsterdt, Dewar; Ramsay, Moureau, Troost y Bouchard, han descorrido en parte el tupido velo que ocultaba el conocimiento de los hechos formulados, haciéndonos entrever la fundada esperanza de llegar en perentorio plazo á su completo y definitivo esclarecimiento.

De estos trabajos resulta que puede afirmarse con absoluta certeza la presencia de la emanación de radio en los gases expontáneamente desprendidos de ciertos manantiales minera'es y la existencia de sales de radio en los depósitos de algunas aguas.

Y si esta emanación tiene acciones fisiológicas indiscutibles, brillantemente comprobadas por los trabajos de Bohm, Danlos y Danysz, mas atrás referidos; ¿no es lógico suponer que la acción medicinal de ciertas aguas resida precisamente en la emanación que encierran?

¿Como no atribuir á la actividad radiante de esas aguas minerales la causa de esa desproporción que se observa entre la energía de sus efectos terapéuticos y la escasez de sus componentes químicos?

Y estos primeros atisbos en la resolución real del problema llegan hasta la certidumbre, cuando se relacio-

nan los hechos comprobados en ciertas aguas minerales (fiebre termal, acción sedátiva, efectos nervinos, virtud terapéutica decreciente con el tiempo) con las propiedades de la emanación (acción sobre el sistema nervioso y disminución de las propiedades radioactivas según una ley constante).

Como muy oportunamente dijo el Dr. Muñoz del Castillo en una conferencia que dió el 8 de Marzo último ante la Sociedad Española de Hidrología Médica: "La ciencia, al descubrir la radioactividad, ha añadido algo importantímo al conocimiento de las aguas minerales; ha patentizado la existencia de una cosa que *se administra al pié del manantial*, y no fuera de él; y que se administra en los términos que revelan los experimentos demostrativos de que la inhalación de las emanaciones de Radio ó Torio y el ambiente de los laboratorios de radioactividad activan los tejidos en términos de que el aire expirado es radioactivo, y esta activación puede apreciarse, aun al cabo de dos ó tres días, hasta (se cita un caso) por la impresión sobre la placa fotográfica.

A continuación expuso; "La hidro-radioactividad, por otra parte va resultando fenómeno más generalizado de lo que á primera vista pudiera creerse: de manantiales franceses recientemente reconocidos por Curie y Laborde, solo tres no son activos; y, en general, todos los termales examinados en Inglaterra, Alemania, Austria é Italia, si lo son; debiendo por ello, confiar en que España no resultará menos rica que cualquier otro pais en aguas minerales radio-

activas, diferentes en cuanto á la intensidad y á la calidad.„

Y terminó tan notable disertación con las conclusiones siguientes:

"Las indicaciones médicas tan conocidas por todo el mundo, de muchos veneros españoles, pueden servir de norte, por lo que hace al orden en la exploración general de la península; así la especialización cardiaca de las aguas de Puenteviesgo; la nerviosa de las de Alange, Solares, La Garriga y otras; la cicatrizante y calmante de las de Alhama de Aragón y algunas más; quien sabe si la de uno de los manantiales de Segura en ciertas afecciones de la vista; la de las introjenadas de Panticosa en las enfermedades del pecho etc., etc., representan acicates para llevar á cabo cuanto antes el estudio de la radioactividad de las mismas.„

"Siendo desde luego satisfactorio poder consignar á la hora presente que según los reconocimientos practicados durante las últimas semanas en el Laboratorio de la Facultad de Ciencias, aparece notablemente activo uno de los manantiales de Puenteviesgo; con indicios de radioactividad uno de los de Buyeres de Nava, y ofreciendo fenómenos verdaderamente curiosos las aguas de Alhama de Aragón."

"Respecto de las de Panticosa procede llamar la atención al efecto de que cuanto antes sean examinadas; pues conteniendo el gas químicamente inerte Argon, según la preciosa último Memoria publicada por el director de aquel balneario, Sr. Gurrucharri; y diciéndose que entre los ga-

ses que desprenden se halla el Helio, si ésto último fuese exacto, cabría confiar en que resultaran, al ser estudiadas francamente activas; propiedad por otra parte, que en tal supuesto aparecería como factor principalísimo en la explicación de los efectos que se alcanzan en dicha estación hidromedicinal, hoy atribuidos casi exclusivamente á la altura y al azoe, más acaso que por completo convencimiento, por falta de datos acerca de otras circunstancias, cual la radioactividad, á que poder también referirnos como concausa. (1)

Dedúcese de todo lo expuesto el extraordinario interés que para la Hidrología Médica tiene el estudio de los manantiales bajo el punto de vista radioactivo. Las conclusiones que se obtengan por la comparación de la temperatura de las aguas, su mineralización, naturaleza de los gases desprendidos, su radioactividad y las acciones terapéuticas seguramente han de prestar valiosos servicios á la clínica.

A dos órdenes de consideraciones teóricas conduce el estudio de la radioactividad, relativo uno á la naturaleza de la emisión, y referente otro á la investigación de la causa productura de tan extraña propiedad.

Conocidas nos son las conclusiones á que conduce el estudio de la emisión de los cuerpos radioactivos: cada una de ellas ha sido expuesta en su lugar correspondiente, pe-

(1) Anales de la Sociedad Española de Hidrología Médica T. XVII n.º 4 p. 81.

ro atendiendo á la mayor claridad del sujeto vamos á resumirlas aquí y á metodizarlas.

Dos fenómenos distintos hemos tenido que considerar en esta emisión; la radiacción y la emanación. La primera se compone de distintas partes enteramente idénticas á los diversos rayos originados por el paso de la descarga eléctrica á traves de gases enrarecidos, en cambio la emanación no puede en rigor asimilarse á ningún fenómeno conocido.

Bajo tres formas designadas por α β y γ hemos visto manifestarse la radiación de los cuerpos radiactivos. Los rayos α asimilables á los rayos canales, los β idénticos á los catódicos, y los γ comportándose como rayos X muy penetrantes.

Las descargas eléctricas al actuar sobre atmósferas gaseosas enrarecidas originan rayos catódicos y canales, engendradores aquellos de los rayos X, así como éstos al actuar sobre los metales producen una radiación secundaria compuesta de dos partes; no desviable una, por el campo magnético, y otra desviable, portadores de cargas eléctricas negativas.

Luego, la asociación de los rayos α β y γ en la radiación de las substancias radioactivas nada nuevo y extraordinario nos ofrece.

De estas tres clases de rayos los γ no faltan nunca en la radiación de los cuerpos activos, no así los α y β que no existen en la radiación de determinadas substancias: tal sucede con la del polonio desprovista de rayos β, y

con la del uranio desprovista al parecer de rayos cargados de electricidad positiva.

Claro es, que tan curioso hecho observado por Becquerel no hecha por tierra cualquier idea de relación ó dependencia mútua presumible entre los diversos rayos constituyentes de la radiación becquereliana, pero hasta el presente, solo guiándonos por el criterio de analogía puede suponerse que algunos de los citados rayos sean originados por los otros.

Una de las hipótesis más verosímiles, consiste, en considerar los rayos X y por consiguiente los rayos γ, como impulsiones del eter, no constituyendo ondas regulares. Tal supuesto, se halla relacionado con una de las hipótesis propuestas para explicar la radioactividad, la cual según veremos más lejos, considera á dicho fenómeno, y en particular los rayos α y β como efectos de una serie de explosiones atómicas. Siendo ésto así, concíbese facilmente que las indicadas explosiones provoquen perturbaciones del éter, incapaces de sucederse con la regularídad de las que originan los fenómenos luminosos.

La radiación β ó catódica, ha sido la mejor estudiada, dándonos perfecta cuenta de sus propiedades hasta en los menores accidentes, considerándola constituida por un conjunto de partículas materiales portadoras de cargas eléctricas negativas. Estos corpúsculos, según expresión de J. J. Thomson, ó estos electrons como los llama Lorentz, han sido considerados como particulas de materia ordina-

ria, cuyas masas serían aproximadamente mil veces más pequeñas que la del átomo de hidrógeno.

La teoría balística ó corpuscular, tan fecunda en el orden esperimental, compara la transmisión de los rayos catódicos, suceptibles de atravesar masas solidas, sin perder por eso las cargas eléctricas, con el paso de una ráfaga de polvo á través de una tupida malla. Las partículas más finas y veloces deben ser las más penetrantes; las más lentas serán las más absorbibles. Los rayos secundarios según esta imageá estarán constituidos por la materia arrastrada ó pulverizada por los proyectiles atómicos. La realidad de las cargas negativas, transportadas por los rayos catódicos ha sido rigurosamente demostrada, mas no ha sucedido así con la existencia real de los corpúsculos que aun continua en el terreno hipotético. Los experimentos de Kaufmann han demostrado, que la relación entre masa atribuída á los ficticios corpúsculos y la carga que transportan era variable con la velocidad calculada. Apoyándose Abrahan en la teoría de Lorentz, ha llegado á demostrar que, una parte al menos de la inercia de un electron en movimiento era de naturaleza electromagnética, y función de la velocidad. Aplicando á sus experimentos las fórmulas de Abraham, ha creido Kaufmann poder afirmar que dentro del limite de los errores experimentales, la masa calculada para el electron era enteramente electromagnética, mas la importancia de esta deducción exije pruebas experimentales más precisas.

Faltan así mismo, datos experimentales suficientemen-

te exactos, respecto á los rayos α, sólo se sabe que aplicándoles la teoría balística, las masas calculadas son más gruesas y las velocidades menores que para los rayos catódicos.

Los electrons no poseen las propiepades de la mateordinaria bajo los estados que nos es conocida. Sir Williams Crookes, iniciador de estas ideas teóricas, consideraba la materia radiante como un cuarto estado de la materia; y la materia radiante soporte de cargas eléctricas transportadas no es otra cosa que el electron.

Resulta de todas estas consideraciones, que si por el hecho de la radiación los cuerpos activos sufriesen una pérdida de peso, esta debe ser tan debil que escaparía á nuestros más sensibles medios de medida. Deducción de acuerdo con la experiencia, pues las pesadas más precisas no han podido acreditar la menor pérdida de peso de las substancias radioactivas.

La radiación al encontrar los cuerpos y al penetrar en ellos se transforma y provoca efectos caloríficos, químicos y luminosos. Una parte de ésta radiación, puede ser absorbida y transformada por las mismas substancias radioactivas. La fosforescencia expontánea de las sales de radio y una parte, por lo menos, del calor que desprenden, puede atribuirse á ésta absorción.

Consignado está yá el estudio que de los efectos de la emanación, ha sido realizado por los Sres. Curie y Rutherford. Dedúcese de tan notables trabajos, que el fenómeno de la emanación parece hallarse en íntimo consorcio

con la presencia de un medio material. Rutherford ha comprobado que la emanación del torio se comporta como un gas, y en cuanto á la radioactividad que comunica á los cuerpos y en particular á los electrizados negativamente, explícala su autor suponiendo que la emanación produce sobre el cuerpo activado un depósito material, hipótesis que desde luego dá razón cumplida de todos los hechos hasta aquí observados: pero con la condición de admitir tal exiguidad en la proporción de materia aposada, que se haga imposible su revelación por los procedimientos aplicables á la materia ordinaria.

En consonancia con estas mismas ideas han demostrado los Sres, Curie, que la actividad inducida por el radio, se transmite por intermedio de los gases, que su transmision es imposible en el vacío, y que la emanación se difunde en los gases como pudiera hacerlo un gas en el seno de otro.

El hecho de que la presencia del agua y muy especialmente la disolución en este líquido de ciertas sales radioactivas, favorece la producción de la emanación, dá márgen á que ésta se atribuya á la disociación electrolítica, experimentada por las sales disueltas.

En cambio, la calcinación impotente por sí para alterar la intensidad de la energía radiada, les hace perder aquella facultad emisiva, coincidiendo esta pérdida con la eliminación de las trazas de agua contenida en las sales. Pero basta la disolución de la sal en el agua, y el retorno

al estado sólido por vía de cristalización para que la emanación reaparezca.

Es muy cierto, que estos hechos pueden también interpretarse, ó bien admitiendo que la calcinación provoque en la superficie de las partículas sólidas la formación de una capa vítrea capaz de interceptar los cambios gaseosos, confinando así la emanación al interior de las partículas vitrificadas, ó que el calor opere un cambio de constitución molecular que se oponga á la difusión de los gases, estado molecular que pudiera ser expontáneo y permanente en ciertas substancias radioactivas, lo cual explicaría su carencia de emanación, como acontece con el uranio y el polonio.

Conviene relacionar las consideraciones expuestas con los fenómenos de activación obtenidos por via química, precipitando cuerpos inertes en el seno de soluciones activas. Estos, como es sabido, adquieren temporalmente una actividad idéntica á la del cuerpo radioactivo disuelto. Ante la perspectiva de estos hechos pudiera suponerse que la activación en tales casos fuese originada por un arrastre de partículas radioactivas efectuado por la precipitación, más como la radioactividad producida desaparece con el tiempo, precisa admitir, ó que la materia activa arrastrada desaparece siendo su cantidad bastante débil para que esta desaparición se haga apreciable en cortos intérvalos de tiempo, ó que la materia arrastrada deja de ser permanentemente radioactiva, como acontece con la emanación.

Esta última hipótesis puede formularse en términos

más claros, diciendo; que la substancia precipitada fija la emanación liberada por la disolución electrolítica, y en este caso; dicho se está, que la disminución de actividad de la materia disuelta reconoce como causa este préstamo de emanación.

Pero esta pérdida de actividad sabemos es temporal; la sal actual disuelta recupera con el tiempo la actividad primitiva y más rápidamente si se le hace tomar el estado sólido, curiosísimo fenómeno que ha motivado la explicación siguiente debida á Becquerel. Según este sabio, la emanación producida por una preparación radioactiva se fija en parte sobre la misma preparación, ya sea sobre la materia inerte mezclada á la materia activa, ó sobre las moléculas inactivas asociadas químicamente á las activas. Por efecto de esa *auto-activación* la actividad de aquella debe aumentar expontáneamente hasta llegar á un máximun, que se obtendrá, cuando la pérdida natural de la actividad inducida compense exactamente el aumento de actividad debido á la producción contínua de emanación.

Cuando se disuelve una preparación radioactiva, la actividad inducida de las materias mezcladas y la de los elementos disociados se extiende por la disolución, y de aquí puede pasar á los gases que la radean, observándose en todos los casos que al retornar la preparación el estado sólido, las materias inactivas que lleva mezcladas poseen distinta actividad que ántes de la disolución.

Así la actividad del sulfaío barico precipitado en la

solución de una sal de uranio, puede superar temporalmente á la de esta última sal, hecho que excluye la hipótesis de que la activación del citado cuerpo sea debida al arrastre mecánico de partículas de uranio. Todo parece ocurrir aquí, como si la emanación repartida en el líquido se concentrase en gran parte sobre una pequeña cantidad de materia inerte.

Fenómenos del mismo orden, parecen intervenir en la concentración progresiva de la actividad inducida, mediante una serie de precipitaciones fraccionadas y aun en las operaciones de fraccionamiento por cristalización, á cuya causa debe obedecer el hecho de que, los primeros cristales depositados posean una actividad permanentemente superior á la de los depositados ulteriormente en soluciones ya debilitadas.

La hipótesis, pues, que asimila la emanación á una materia activa se presta admirablemente á la interpretación de los fenómenos.

Insistiendo Becquerel en este mismo orden de ideas, concibió la siguiente hipótesis explicativa de la radioactividad, que le ha servido de guía en sus notables investigaciones. Supone este físico que en los cuerpos radioactivos cabe imaginar la existencia de dos clases de partículas de diferentes tamaños; unas cerca de mil veces mas pequeñas que las otras. Al separarse las partículas más pequeñas, se llevarían consigo cargas eléctricas negativas y tomarían velocidades enormes que unidas á su pequeña masa les permitirían atravesar los cuerpos sólidos (rayos

catódicos); las otras particulas, mas gruesas cuyas masas serían del orden de magnitud de las de los íones electrolíticos estarán animadas de velocidades mucho menores; unas cargadas positivamente formarán radiaciones muy absorbibles (rayos α), las otras no atravesarán los sólidos y constituirán la emanación, comportándose como una especie de gas, capaz de formar sobre todos los cuerpos, excepto los electrizados positivamente, un depósito material.

Este depósito de materia, podría á su vez dividirse en partículas más pequeñas susceptibles de atravesar el vidrio, originando rayos desviables ó no desviables; resultando de esta subdivisión molecular el que la radioactividad inducida se disipe, aun á través de envolturas de vidrio.

Mire bien, esta hipótesis de la materialidad de la emanación que tan bien concuerda con los hechos, y que ha sido fiel guia de la magna labor experimental realizada por Becquerel, presenta una laguna que en vano se ha tratado de llenar. Es muy cierto, que las propiedades de la emanación, y los fenómenos que provoca autorizan á pensar en su materialidad. ¿Pero á pesar de esto, puede afirmarse sin riesgo alguno que la emanación sea realmente un gas material? El mismo Becquerel al llegar á este punto, reconoce que, ninguno de los hechos hasta hoy conocidos, autorizan semejante afirmación.

?Que clase de materia pues, es la que constituye la emanación? Desde luego no puede asimilarse á la materia ordinaria, ó dicho de otro modo, su estado es distinto

de los que habitualmente afecta la materia ordinaria.

Rutherford como Becquerel, ha pensado tambien en la materialidad de la emanación, no habiendo vacilado en atribuirle las propiedades de los gases del grupo del argo y helio. Pero la ausencia de tensión de vapor en el vacio, el no observarse ni aun trazas de las rayas del radio en el expectro de los gases extraidos de las sales rádicas, y el perder toda su actividad la emanación encerrada en un tubo, se hallan en desacuerdo con tal supuesto.

Para responder á estas objeciones, precisa admitir que, en la emanación la proporción de materia es tan debil que se hace imposible su manifestación por los medios ordinarios empleados en el reconocimiento de los cuerpos, y en corroboración de este aserto viene el hecho, que las rayas expectrales del radio no aparecen sino con productos relativamente ricos en radio.

Conocida nos es la opinión emitida por el señor Curie, acerca de la emanación y del mecanismo de la radioactividad. Segun este físico, no hay razones suficientes para admitir la existencia de una emanación material bajo su forma atómica ordinaria, antes por el contrario, supone que, la emanación no es otra cosa que energía radioactiva almacenada en los gases, bajo una forma especial, y explica la radiación becquereliana, segun ya hemos visto por una transformación de la emanación. En cuanto al soporte de la energía constitutiva de la emanación, indica el señor Curie como posibles los tres supuestos siguientes: admitir con Rutherford que el radio emite un gas portador de la ema-

nación; atribuir el papel de soporte al gas existente en el espacio en cuyo seno aquella se difunde, ó suponer por último, que la emanación no tiene por soporte la materia ordinaria, admitiendo que entre las moléculas de los gases existen centros de condensación de energías, conforme se expuso en la página...

Debierne ha reproducido y desarrollado recientemente, la hipótesis de los centros de energía ó iones activantes, con motivo de sus estudios sobre la actividad inducida por las sales de actinio. Mediante esta hipótesis, ha explicado Debierne las diferiencias existentes entre la difusión en el vacio de la activación producida por el radio y la del actinio. Tambien ha comprobado dicho físico que un campo magnético actua sobre la causa de la activación, y atribuye esta causa á una nueva radiación que tendría la propiedad de volver temporalmente activos los cuerpos sometidos á su influencia. Para comprobar el valor de esta hipótesis se necesitan nuevas y mas precisas esperiencias.

Dedúcese de todo lo expuesto que el estudio de la emisión de los cuerpos radioactivos, bajo sus dos formas radiación y emanación, conduce á concebir la materia en un estado diferente del estado atómico ordinario. Los electrons, tales como los ha imaginado Lorentz en su teoría electromagnetica de la luz, parecen responder á esta concepción, lo que establece estrecha solidaridad entre las manifestaciones de la radioactividad y las causas originarias de los fenómenos eléctricos electromagnéticos y luminosos.

Todas las radiaciones del uranio, radio, roito y demás cuerpos radioactivos se traducen en último análisis, por una emisión constante de energía, sin que al parecer esa energía se agote, como si el manantial que la suministra tuviese de ella reservas infinitas.

Varias hipótesis se han propuesto para explicar tan extraordinario hecho, en pugna, al parecer, con el orden científico existente.

Una de ellas, emitida por la señora Curie, consiste en suponer que todo el espacio se halla constantemente atravesado por rayos análogos á los X, pero mucho mas penetrantes, los cuales no son absorbidos sino por ciertos elementos como el uranio, el torío, el radio de pesos atomios considerables. Los cuerpos radioactivos segun esta hipótesis, no son otra cosa que transformadores de la energía cosmica ó solar, que ellos absorben, en energía radioactiva, así como el vidrio transforma los rayos catódicos en rayos X; los metales transforman á estos rayos en rayos secundarios y los cuerpos fluorescentes convierten en radiaciones visibles la luz ultraviolada invisible.

Hasta la fecha, ningun hecho conocido apoya ni niega esta hipótesis. La actividad de los cuerpos radioactivos no parece sufrir modificación alguna, cuando se les coloca en el fondo de una mina profunda, ó en el seno de una gran masa de mineral radioactivo, que, conforme al principio de Kirchhoff, ha debido absorber la radiación excitadora.

Los señores Curie han medido la radioactividad del

uranio á medio día y á media noche, pensando encontrar diferiencias en el caso de que la radiación excitadora hipotética tuviese su origen en el sol, pues por lo menos en parte había de ser absorbida al atravesar la tierra. Ninguna diferencia entre ambas medidas ha podido ser apreciada por los citados experimentadores, obteniendo el mismo resultado el capitán Lafay profesor de la Escuela politécnica de París.

A pesar de los resultados expuestos, sería arriesgadísimo afirmar la no existencia de la supuesta radiación. Está perfectamente comprobado, que los fenómenos eléctricos terrestres son influidos por las manchas solares, y acompañan á los fenómenos sísmicos. La cantidad de electricidad producida por el sol es considerable. Entre estas fuerzas de formas desconocidas se halla la que produce la cola anormal de los cometas, opuesta á la cola normal dirigida hacia el sol. Opina Bessel, que esta cola es debida á una fuerza repulsiva del sol, polaridad eléctrica ó magnética. Y en este caso nada de extraño tendría que esta misma fuerza ú otra análoga sea la absorbida por los cuerpos de peso atómico muy elevado transformándola en energía radioactiva.

Otra hipótesis ingeniosísima imaginada por Rutherford supone que la energía desprendida por los cuerpos radioactivos es debida á transformaciones de sus átomos.

Juan Perrín (1) considera el átomo como un sistema

(1(Jean Perrin. Les hipotlieses moléculaires.

solar en miniatura, en el cual, los corpúsculos cargados de electricidad negativa giran como planetas alrededor de uno ó de varios centros de masa relativamente considerable y cargados de electricidad positiva; constituyendo este conjunto de soles y corpúsculos un sistema eléctrico neutro. Según Wilson y J. J. Thomson la masa de los corpúsculos es la milésima parte del átomo.

Los átomos pueden diferenciarse por el número de corpúsculos, por las velocidades de éstos y por sus distancias al centro de rotación. El átomo muy pesado es un sistema planetario muy rico en corpúsculos. Esta concepción del átomo, que tan claramente explica el porqué la radio-actividad es patrimonio de los cuerpos de gran peso atómico, presenta el supremo interés científico de hacer extensivo á lo infinitamente pequeño, al átomo, el principio de la gravitación universal que rige al universo, mundo infinitamente grande. Y no terminan aquí sus previsiones y aciertos. Aparte de que para la explicación de los fenómenos hace uso de un principio perfectamente conocido, presupone la hipótesis de la unidad de la materia, creencia mucho más verosímil y lógica que la de un número finito de cuerpos simples.

Pero, admitir que el átomo es divisible, ¿no parece un contrasentido? Pretender dividir este último elemento de la materia, que por definición es indivisible, ¿no es destruir el fundamento de todas nuestras teorías sobre la constitucion de los cuerpos? ¿A qué quedan reducidos entonces los principios fundamentales de la Química y la hi-

pótesis atómica? La pretensión es seguramente audaz y de tal gravedad por las extrañas consecuencias filosóficas á que se presta, que nada de extraño tiene trate de oponerse á su empuje revolucionario las resistencias conservadoras del orden científico existente, distinguiéndose en esta tarea los químicos al ver atacadas sus más firmes convicciones.

Sin embargo, considerando este asunto bajo su verdadero punto de vista, la supuesta división del átomo no trastorna ni en mucho ni en poco el sistema de la Química actual. Las teorías que sirven de fundamento á esta ciencia continuarán inquebrantables como hasta aquí y libres de toda discusión y crítica, siempre que no se les dé otro alcance que el naturalmente deducido de sus legítimas y rigurosas conclusiones.

En efecto, dedúcese de la experiencia que el átomo no es divisible mecánica y químicamente. Esta es, pues, la única afirmación que á la Química compete. El ir más lejos del límite señalado conduciría á una conclusión en evidente desacuerdo con las premisas.

El que se descubran nuevos modos de división de la materia que lleguen más allá del átomo, valiéndose de medios fuera del dominio de la Química y con producción de fenómenos extraños á ella, ¿pueden, en rigor, constituir motivos de alarma para esta ciencia, ni mucho menos para que se modifiquen sus bien cimentadas teorías? Lo único que en tal caso se pondría de manifiesto, es el haber procedido con demasiada ligereza al afirmar la insecabilidad

absoluta de sus últimos elementos, ó el haber sido cómplice de los que han hecho tan aventurada afirmación.

Retírense en buena hora tales afirmaciones, tan en desarmonía con los principios de quienes se creen derivativas; bórrese la palabra „absoluto", tan peligrosa para las ciencias positivas como pretenciosa en labios humanos, y la Quimica continuará irguiéndose majestuosa sobre sus sólidos cimientos.

En cuanto á la repugnancia que pueda sentirse para admitir la división de los átomos, ya de por sí tan inverosímilmente ténues que escapan á todos nuestros medios de investigación, aun á los más potentes, no hay razón alguna para tenerla.

¿Si admitimos los átomos sin haberlos visto ni medido, sólo porque teorías plausibles afirman su existencia, no es lógico dispensemos la misma acogida á los corpúsculos ó electrons, si su existencia es postulada por una teoría racional?

La idea de la división del átomo ha tomado carta de naturaleza entre los físicos, que, á consecuencia de los trabajos de Lorentz, Perrin y J. J. Thomson, se han visto obligados á considerar en los iones gaseosos y en los rayos catódicos fracciones pequeñísimas de átomo, según ya se iudicó en las primeras páginas de este discurso.

El átomo que la Química es incapaz de atacar, puede disgregarse en el caso de la radio-actividad con emisión de partículas electrizadas y de una cantidad enorme de energía. Ocurre con los átomss de los cuerpos radio-

activos algo análogo á lo que sucede con las moléculas de los compuestos endotérmicos, que exigen para formarse una gran cantidad de energía, desprendiéndola al descomponerse. Estos átomos constituyen sistemas materiales inestables, que se destruyen, al parecer expontáneamente por una especie de explosión. Los residuos estarían constituidos en parte por materia inerte, y en parte por electrons ó grupos de electrons constitutivos de los rayos α y β, comunicando á la vez extremecimientos al éter originarios de los rayos γ. La emanación, según esta hipótesis, puede considerarse formada por agrupamiento de electrons, transportados por la materia gaseosa, la cual puede, á su vez, experimentar desdoblamientos sucesivos hasta llegar á un átomo químicamente estable (por ejemplo el helio).

La hipótesis de las transfomaciones moleculares, mucho menos satisfactoria que las precedentes, deja intacto al átomo químico y considera la radioactividad como efecto de una disociación ordinaria de compuestos químicos definidos, por ejemplo de un compuesto de radio y helio.

El fenómeno vendría á ser una especie de evaporación, comparable á la producción de los olores que ciertos cuerpos emiten, sin que se pueda comprobar, aun después de transcurrido largo tiempo, la más ligera pérdida de peso y la emanación sería comparable á un gas transportando este olor.

Tanto en esta hipótesis como en la anterior, pueden compararse los cuerpos radio-activos á depósitos de energía disponible, la cual van cediendo paulatinamente. Si la

cantidad de energía acumulada es débil, el fenómeno es temporal, mas si aquélla fuese considerable, la emisión nos parecerá permanente.

No menos interesante que la hipótesis de la destrucción del átomo es la hipótesis inversa imaginada por Filipo Re, cuyo autor participa de las mismas ideas de Perrin respecto á la constitución de los átomos, asimilándolos á pequeños sistemas planetarios. Según esta hipótesis, no menos legítima y verosímil que la concerniente á la formación de los sistemas solares, las partículas constitutivas de los átomos formaron primero parte de una nebulosa de tenuidad extrema, reuniéndose luego alrededor de centros de condensación, originándo soles infinitamente pequeños, los cuales, por contracciones ulteriores, han tomado formas estables y definitivas. Cuando esto ha sucedido, cuando estos sistemas dinámicos han llegado á su estabilidad perfecta, constituyen los átomos de los cuerpos simples conocidos. Sus partículas integrantes, á semejanza de los planetas de nuestro sistema solar, giran con movimiento regular y periódico que no cambia en millares de años y millares de siglos, trazando siempre cada partícula la misma curva siempre con la misma periodicidad matemática.

Los átomos de los cuerpos radioactivos serían, por el contrario, sistemás solares compuestos de centenares y miles de planetas todavía en vías de formación, en los que no se han regularizado las órbitas ni las velocidades, en pleno transformismo planetario; como dice el Sr. Echega-

ray (1), "pelotón rezagado de una nebulosa en que á la marcha giratoria pero incierta de sus elementos, no ha podido substituirse la marcha regular perfecta, de secular periodicidad de nuestro planeta."

"Así como en los sistemas solares estables no hay choques posibles, en estos otros sistemas solares inestables que tienen algo en sí de la intranquilidad de la nebulosa, los choques serían frecuentes, repetidos, y repetidos en cada instante miles y millones de veces. De donde resulta, que de la masa total se desprenderían de continuo planetas de la misma masa, sería una granizada. un bombardeo al exterior de planetas con su atmósfera, de planetas sin atmósfera, de vibraciones luminosas, de rayos de calórico, como explosiones de la energía interna."

Y esto es lo que parece observarse en los cuerpos radioactivos y con especialidad en el radio, una gran agitación interna, ebullición enorme, choques sin fin de corpúsculos que giran por doquier, sin ruta fija, sin velocidad ordenada, resultando de este movimiento anárquico el desprendimiento de pequeñas partículas materiales, cargadas unas de electricidad positiva (rayos canales), cargadas otras de electricidad negativa (rayos catódicos), partículas con atmósfera etérea ó con escasa atmósfera, y además vibraciones del éter en forma de rayos X de luz y de calórico.

Esta hipótesis, que, como la de Perrín, tiende á dar unidad al cosmos y á sus fenómenos explica el por

(1) Echegaray. Las energías del radio: artículo publicado en *El Imparcial* el 15 de Febrero de 1904.

qué los cuerpos radioactivos poseen tan elevado peso atómico y el origen de la energía que emiten, residente en la contracción de sus átomos Y que esta contracción origina un desprendimiento de energía muy superior al de las contracciones producidas por la gravitación ó por fuerzas moleculares ó atómicas, lo demuestra el hecho de no haberse podido separar los elementos constitutivos de los atómos, á pesar de los poderosos medios de disgregación química que poseemos.

Una objección puede hacerse. Si el radio emite constantemente materia y energía, ¿cómo no se agota, suponiendo que sólo de sí saque esa materia y esa energía? A esta objección puede contestarse lo siguiente: La pérdida de materia puede ser tan pequeña que sea inapreciable en el transcurso de unos cuantos años. Y se objetará de nuevo: si la materia radiada es tan pequeña ¿cómo la energía es tan considerable ya que un gramo de rádio puro puede emitir en poco tiempo centenares de caballos de vapor?

Y seguiríamos contestando: porque la energía mecánica se mide por la masa multiplicada por el cuadrado de la velocidad, de modo que, por pequeña que sea la masa de una partícula material puede alcanzar en su movimiento una fuerza viva ó energía que represente millones de caballos de vapor, si su velocidad aumenta lo necesario para producir este efecto.

Nernts trata de explicar los fenómenos de radioactividad, admitiendo la existencia de una combinación molecu-

lar entre el eléctron positivo y el eléctron negativo, combinaciones que podrían disociarse por la acción de ciertos agentes originándose dobles descomposiciones. El rádio y las demás subtancias radioactivas, según este modo de ver, deben ser consideradas químicamente como electronuros.

Por último, el ilustrado catedrático de Mecánica Química de la Universidad de Madrid, Sr. Muñoz del Castillo, trata de explicar la radioactividad, como efecto de la formación de moléculas químico-físicas. A este propósito dice: (1) la molécula química es considerada como producto de la afinidad; y las distancias entre los átomos que la constituyen pasan por del órden químico, es decir, por pequeñísimas.„

"La molécula física es considerada como producto de la cohesión; y las distancias entre las entidades químicas iguales que la constituyen, pasan por del órden fisico, es decir, por mayores que las distancias químicas.„

"Las moléculas químico-físicas, cuya existencia resulta indudable para nosotros, presentan entre los componentes distancias de los órdenes químico y físico; son la transición entre los dos grupos clásicos de factores de agregación en los cuerpos; y constituyen el *mecanismo determinante de la radioactividad* y de otros muchos fenómenos no clasificados en total, y mal definidos en gran parte.„

Imaginando, como caso particular, que las moléculas químico-físicas determinantes de la actividad del radio es-

---

(1) Revista de la Real Academia de Ciencias Físicas y Naturales f. n.º 3 p. 222.

tan formadas (1) por átomos de este elemento (de peso 225) y de otros elementos distintos (el helio, de hecho; el nitrógeno, acaso; quien sabe si alguno más).„

"Concepción ésta que plantea el problema becquereliano en términos diametralmente opuestos á los exclusivamente dominantes en estos últimos años; pues se ha dicho hasta la saciedad, y se dice, que la *radioactividad es una propiedad atómica*, quizás general, y aun suceptible de ser observada en la mayoría de los cuerpos simples; y desde nuestros puntos de vista, resulta todo lo contrario, á saber: que *ni el radio ni ningún elemento es radioactivo*; y que los *fenómenos de radioactividad se presentarán*—pero esto es mero accidente—*en los casos en que determinados simples originen la molécula químico-física* que constituye el mecanismo adecuado. Lo cual podría suceder que fuera mas fácil, ó más permanente, ó más eficaz entre elementos de muy diferente peso atómico (2) y de distinto estado físico á iguales temperaturas (3) por razones desconocidas. Y que tuviera como notable precedente, inmediato aunque no único, la oclusión de los gases por los metales; y sobre todo la del hidrógeno por el paladio y el platino.„

El nombre de *intraoclusión* ú *oclusión intramolecular* que hemos dado al fenómeno correspondiente á la existencia de la molécula químico-física radio-helio, sigue el

---

(1) Anales de la Sociedad Española de Física y Química n.º 10, páginas 59 á 61.

(2) El mercurio, el plomo, el bismuto, el radio, el torio y el uranio; entre los cuales acaso se interpolen en breve el polonio el radio telurio el actinio, etc.

(3) El helio, el nitrógeno.

precedente de Graham al proponer el de oclusión. Y cabe sin violencia que la gradación en semejante orden de hechos quede asi establecida.

(a) Adherencia de los gases á la superficie de los sólidos.

(b) Oclusión de los gases en los sólidos (interposición, disolución, acaso nacimiento de moleculas físicas).

(c) Oclusión intramolecular (formación de moléculas químico-físicas.)

(d) Combinación del gas y el sólido (producción de moléculas químicas).

(e) Disolución de los compuestos físicos, químico-físicos y químicos en exceso de sólido; y posible coexistencia de varias disoluciones de gas en sólido como nota general.

Cual de las hipótesis expuestas es la mas probable? El porvenir lo dirá: Hasta el presente la que parece adaptarse mejor á los hechos observados es la hipótesis de las transformaciones atómicas.

Según Stark toda hipótesis destinada á explicar la radioactividad ha de satisfacer estas dos condiciones. Primera; ha de fundamentarse en el hecho de que la radioactividad es una propiedad atómica y no molecular, pues de otro modo no se concibe el que las propiedades radioactivas sean independientes de todas las condiciones físicas y químicas en que se coloque á los cuerpos radioactivos. La energía que estos ponen en juego es la energía interna del átomo.

Segunda; ha de reconocer el hecho que en los fenómenos de radioactividad no intervienen á la vez todos los átomos del cuerpo radioactivo. Según un cálculo aproximado. el número de átomos de radio que emiten electrons durante un tiempo dado es una fracción excesivamente pequeña 10^{-29}) con relación al número total de átomos que contiene.

La hipótesis de las transformaciones atómicas, cump'e con estas dos condiciones, no así la hipótesis solar de Filipo Re, segun la cual la radioactividad reside á la vez en todos los átomos.

Ninguna prueba experimental directa podemos aducir en pro de cualquiera de las hipótesis propuestas, pero á falta de pruebas directas, la experiencia ha suministrado indicios, y estos, preciso es confesarlo, abogan en favor de la hipótesis de las transmutaciones atómicas.

La tabla baro-atómica de Mendeleff, á pesar de sus imperfecciones, sugiere la idea de una comunidad de origen de los elementos, y la posibilidad de una transformación recíproca. A la misma conclusión, conducen ciertas observaciones espectroscópicas. Sólo citaré aquí que Lockyer, á quien se debe el descubrimiento del helio en el sol, ha comprobado que los espectros muy complicados de ciertos metales usuales, como el hierro, se modifican por completo simplificándose extraordinariamente empleando un generador eléctrico muy potente; y ha comprobado así mismo, que estos espectros simplificados coinciden con los de ciertos astros, por lo que ha pensado y con razon, que es

tos nuevos espectros corresponden á elementos tambien nuevos resultantes de la disgregación atómica de otros elementos conocidos.

La idea pues, de una transmutación atómica, es frecuentemente invocada para explicar fenómenos de tan distinto orden.

Es muy cierto que desde hace más de un siglo que se estudia científicamente las transformaciones de la materia: ni uno solo entre los millares de experimentos de orden químico efectuados, ha venido en apoyo directo de la pretendida transmutación, motivo que pudiera parecer más que suficiente para desecharla en absoluto. No obstante, la consecuencia lógica que se deduce de estos resultados negativos es completamente diferente. La ausencia completa de transformaciones atómicas en las reacciones químicas ordinarias, solo prueba, que los agentes físicos y químicos que en ellas intervienen son impotentes para operar una transformación tan profunda. Dada la gran estabilidad de los átomos, es lógico suponer que una transformación de este género se ha de revelar por fenómenos muy distintos de los observados en las reacciones químicas, y que ella ha de poner en juego una gran cantidad de energía. Luego ante la presencia de fenómenos tan nuevos como el desprendimiento expontáneo y continuo de energía, debe suponerse que la causa de tan extraño suceso radique en la transformación de los átomos, hipótesis que hoy hasta cierto punto se impone, después de los descubrimientos de Ramsay y Soddy.

Todos estos hechos que vienen en apoyo de la hipótesis de la transformación atómica del radio, pudieran tambien interpretarse suponiendo que el radio es solo un intermediario en todos estos fenómenos; un elemento catalizador, por ejemplo, capaz de actuar sobre el medio que le rodea (átomos materiales ó éter) dando lugar á transformaciones atómicas, así como la esponja de platino provoca la combinación del hidrógeno y del oxígeno ó la del gas sulfuroso y oxígeno. Bajo este punto de vista el átomo de radio no será yá el de un elemento en vías de destrucción, pero bajo su influencia se transforman los elementos químicos que se hallan en su contacto.

Y aun caben otras hipótesis esplicatorias de la radio actividad, que solo hipótesis le es dado formular al hombre, tratándose de fenómenos complejos y recientemente descubiertos, ¿pero á que continuar en su exposición, si las nuevas hipótesis no aventajan en probabilidades á las ya conocidas ni tienen en su apoyo pruebas experimentales directas?

El descubrimiento de la radioactividad constituye nua nueva etapa en la larga historia de la ciencia, comparable á un inmenso libro, en el que al doblar la última hoja, nos apercibimos que aun no hemos empezado su lectura, y que la verdad con tanto afán buscada se aleja tanto más, cuanto más próxima nos la figuramos.

Contrastando con tanta vaguedad, hemos de hacer una afirmación y con ésto concluimos; que los fenómenos que presentan los cuerpos radioactivos y en particular el

radio no quebrantan ninguno de los dos principios fundamentales de la ciencia clásica, á saber: *el principio de la conservación de la materia y el de la conservación de la energía.*

Si el átomo ó la molécula se destruyen la energía liberada ha sido anteriormente suministrada por el medio externo. Si el átomo se condensa la energía desprendida es el resultado de esta contracción.

En cuanto á la permanencia en la intensidad de la energía radiada no es sino una de las formas bajo las cuales se nos presenta la permanencia de las causas en el Universo, aun cuando tambien puede ser mero espejismo, como efecto de una causa, cuya evolución lenta y contínua produciría la ilusión de la permanencia.

Antes de abandonar esta tribuna permitidme Ilustrísimo Señor dirija un ruego á los Poderes públicos en demanda de protección á la Instrucción pública y un cariñoso saludo á la juventud estudiosa de esta Universidad Hispalense.

Sostiene Sir Norman Lockier en su magistral discurso inaugurando los trabajos de la Asociación británica para el progreso de las Ciencias, y sostiene con razón, que el principal factor de los que ahora moldean y determinan la historia de la humanidad, es decir, el rumbo de los acontecimientos es el poder cerebral, la inteligencia cultivada, cada vez más influyente sobre los actos individuales y sobre la misma naturaleza arrancándole sus secretos y dominando las fuerzas naturales sometiéndolas al imperio del hombre. Es la cultura intelectual el fundamento de la riqueza, la

prosperidad, y la fuerza de las naciones y del desahogo y bienestar de los indivíduos.

Ya lo dijo Disraeli refiriéndose á los progresos del siglo XIX. Los descubrimientos científicos y las transformaciones que ocasionan ejercen más influjo en la vida de las Sociedades que todos los acontecimientos políticos. Por tanto, los hombres de Estado, los políticos, todos los elementos sociales que se tengan por Directores, tienen forzosamente ahora y en lo sucesivo que atender y cuidar de la educación intelectual y del cultivo de las Ciencias, mucho, muchísimo más que lo han hecho hasta el presente. Y los momentos son cada vez más críticos y apremiantes. En la lucha por la existencia, entre las comunidades organizadas, ó sean las naciones, la Ciencia y la inteligencia han ocupado el puesto del sable y del cañón. La Escuela, la Universidad, el Laboratorio, el Taller, son los campos de batalla de las nuevas guerras. Por ésto toda nación, debe organizar sus recursos para poder hacer frente del mejor modo posible á los nuevos problemas, que los progresos cientificos, combinados con los intereses nacionales, y con la competencia internacional, han de traer consigo.

"El comercio sigue la bandera„ - se decia antes—"El comercio sigue la inteligencia„—hay que decir hoy.—Frase gráfica y feliz del Presidente de la Asociación británica que, con diafanidad indica la naturaleza de la lucha y de la competencia actuales; y el modo de prepararse para ellas so pena de perecer.

Es necesario convencerse; de que es deber de todo

Estado, organizar sus fuerzas y sus elementos tan cuidadosamente para la paz como para la guerra, de que las Escuelas y las Universidades son tan importantes como los acorazados y los regimientos, pues en realidad son partes esenciales de la maquinaria de las naciones modernas.

Precisa por tanto, desarrollar los elementos mentales del país por todos los medios posibles, mejorando los métodos educativos, aumentando y dotando bien los centros de enseñanza y sobre todo inculcando la Ciencia por la observación, la experimentación y la investigación, hasta infundir un verdadero espíritu científico en todas las clases y en todas las direcciones de la actividad nacional.

Por no haberse penetrado de estas ideas las clases directoras que desde larga fecha rigen los destinos de España, vá ésta á la zaga de los paises civilizados, y se halla en las condiciones más desfavorables para sostener la lucha por la existencia.

¿Merecerá en lo sucesivo nuestra instrucción pública cuidados más solícitos, único camino para conducirnos á la tan anhelada regeneración nacional?

Es de creer que sí, si es que no se quiere que seamos pasto de otros pueblos más fuertes y vigorosos. Porque no hay que olvidarlo: Los pueblos en los cuales la Ciencia como función no posee una vitalidad y energía propio, son comparables á los organismos débiles y anémicos en los que la miseria fisológica los hace aptos para el prendimiento y desarrollo de todos los gérmenes morbosos y al faltarles esa actividad creadora se corrompen en el orden moral,

traducen en la Ciencia, imitan en literatura, revenden en la industria, se doblegan en el concierto internacional y desfallecen y sucumben en la lucha.

Penetraos bien, de cuanto acabo de exponer, jóvenes escolares. Acudid en buen hora á la Universidad, pero no en demanda de títulos, diplomas y habilitación oficial exclusivamente, sino en busca de ciencia, de mucha ciencia á la que las naciones deben el secreto de su poderío y grandeza, y el respeto en el concierto de los pueblos cultos: no olvideis que la patria cifra en vosotros sus esperanzas y que no tiene otros horizontes que los que descubran sus propios hijos.

He dicho.

